

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І.  
СІКОРСЬКОГО”

Теплоенергетичний факультет  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»  
УДК 621.182-5

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ / В.А.Волощук /  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра

за спеціальністю 151 “ Автоматизоване управління технологічними процесами ”

на тему: Автоматизація бойлерної станції сміттєспалювального заводу

**Виконав:** VI курсу, групи ТО-81мп

студент

Дудник Сергій Олексійович

(прізвище ім'я, по батькові)

(підпис)

**Науковий керівник**

ст.викл. Поліщук І.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали )

(підпис)

**Рецензент**

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали )

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті

немає

запозичень з праць інших авторів без

відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України  
 “Київський політехнічний інститут  
 імені Ігоря Сікорського”

Факультет Теплоенергетичний  
 Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів  
 Рівень вищої освіти – другий(магістерський) за освітньо-професійною програмою  
 Спеціальність 151“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_/В.А.Волощук/  
 (підпис) (ініціали, прізвище)  
 “ “ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

Дудника Сергія Олексійовича  
 (прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема дисертації Автоматизація бойлерної станції  
сміттєспалювального заводу

науковий керівник дисертації Поліщук Ігор Анатолійович, ст.викладач  
 (прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «4» листопада 2019 р. № 3812-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об’єкт дослідження Тиск пари на вході до бойлерної станції сміттєспалю -  
вального заводу «Енергія» м.Київ

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-  
 професійною програмою)  
Розробка системи керування бойлерною станцією сміттєспалювального заводу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити  
Вступ. Огляд технологічного об’єкту керування. Постановка задачі дослідження.

Моделювання та синтез АСР. Розробка технічного та програмного забезпечення системи. Розробка стартап – проекту.

6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу  
Схема функціональна автоматизації. Схема принципова електрична. Креслення щита. Схема зовнішніх проводок. Замовна специфікація. Презентація

7. Орієнтований перелік публікацій

«Застосування регулятора змінної структури з гармонічними збуреннями вхідних параметрів» стаття у журналі «Молодий вчений» - Листопад, 2019 - № 11 (75).

«Проблематика систем управління бойлерною станцією сміттєспалювального заводу» тези XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів.

«Системи автоматичного захисту та блокування бойлерної станції сміттєспалювального заводу» тези XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів.

8. Дата видачі завдання " 04 " вересня 2018 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	04.09.2018	
2	<i>Розділ 1. Аналітичний огляд проблеми</i>	23.11.2018	
3	<i>Розділ 2. Дослідження бойлерної станції сміттєспалювального заводу як об'єкт управління</i>	01.03.2019	
4	<i>Розділ 3. Розробка системи управління об'єктом</i>	07.06.2019	
5	<i>Схема автоматизації функціональна. Замовна специфікація.</i>	12.07.2019	
6	<i>Схема принципова електрична. Креслення щита. Схема зовнішніх проводок</i>	02.08.2019	
7	<i>Розділ 4. Реалізація системи управління об'єктом</i>	27.09.2019	
8	<i>Розділ 5. Стартап-проект</i>	25.10.2019	
9	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>		
10	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	11.12.2019	
11	<i>Захист</i>	18.12.2019	

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновку, переліку використаних джерел та креслень. Робота виконана в обсязі 85 сторінок, містить 49 рисунка, 34 таблиці, 5 креслень та 24 слайдів презентації.

Метою магістерської дисертації є вдосконалення системи автоматизованого керування бойлерної станції сміттєспалювального заводу.

В ході роботи було проаналізовано відомості про об'єкт, проведені експерименти для створення системи автоматичного регулювання тиском на вході бойлерної станції, проведений розрахунок надійності. Було розроблено технічне та програмне забезпечення. Також був розроблений стартап - проект.

В цілому, розроблена система відповідає всім поставленим нормам та вимогам, і може бути впроваджена в експлуатацію.

## ABSTRACT

Master's work is consists of introduction, 5 sections, conclusion, references and drawings. The work is 85 pages in size, contains 48 drawings, 34 tables, 5 drawings and 24 slides.

The purpose of the master's work is comprehensive system of automated water heater station of the incinerator plant.

During the work the object data was analyzed, experiments were conducted to create an automatic pressure control system at the inlet of the boiler station, and the reliability calculation was made. Technical and software were developed. A startup project was also developed.

In general, the developed system meets all set standards and requirements, and can be put into operation.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	10
ВСТУП.....	11
Актуальність теми .....	11
Мета і завдання дослідження.....	11
Методи дослідження .....	12
Наукова новизна одержаних результатів .....	12
Практичне значення отриманих результатів .....	13
Апробація результатів магістерської роботи .....	13
Особистий внесок здобувача .....	13
Публікації .....	13
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЕМИ .....	14
1.1. Сучасний стан галузі .....	14
1.2. Загальна постановка і актуальність задачі дослідження .....	14
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ.....	15
2.1. Опис технологічної схеми об'єкту управління .....	15
2.1.1. Загальний опис сміттєспалювального заводу .....	15
2.1.2. Опис загального технологічного процесу .....	15
2.1.3. Опис технологічного процесу та характеристики .....	17
2.2. Отримання моделі об'єкту управління .....	18
2.3. Призначення та функції створюваної системи.....	20
2.3.1. Функції контролю .....	20
2.3.2. Функції регулювання.....	23
2.3.3. Функції сигналізації.....	24
2.3.4. Функції автоматичного захисту і блокування.....	24
2.3.5. Функції супервізорного рівня .....	25
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ .....	26
3.1. Функціональна структура системи управління об'єктом .....	26
3.2. Вимоги до реалізації функцій ПТКЗА .....	27

3.3.	Розробка технічного, алгоритмічного та програмного забезпечення системи управління .....	32
3.4.	Розрахункова частина .....	35
4.	РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ .....	45
4.1.	Технічна реалізація системи управління .....	45
4.2.	Програмна реалізація системи управління .....	58
4.3.	Імітаційне моделювання АТП .....	68
5.	СТАРТАП - ПРОЕКТ .....	74
5.1.	Резюме стартап – проекту .....	74
5.2.	Організаційний план .....	75
5.3.	Маркетинговий план .....	77
5.3.1.	Маркетингова концепція товару .....	77
5.3.2.	Маркетингова модель товару .....	78
5.3.3.	Визначення цінових меж .....	79
5.3.4.	Системи збуту .....	79
5.3.5.	Концепція маркетингових комунікацій .....	80
5.4.	Фінансовий план .....	80
5.5.	Юридичний план .....	82
5.6.	Оцінка та аналіз ризиків .....	83
5.7.	Висновок .....	85
	ВИСНОВКИ .....	86
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ .....	87

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТОК – технологічний об’єкт керування;

САР – система автоматичного регулювання;

АСК – автоматизована система керування;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

ПРС – приміщення розвантаження сміття;

ПВТ – пароводяний теплообмінник;

ВВТ – водо-водяний теплообмінник;

РК – резервуар конденсату;

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ПК – персональний комп’ютер;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ВП – вимірювальний пристрій;

ВМ – виконавчий механізм;

РО – регулюючий орган;

РЗС – регулятор змінної структури;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ССН – структурна схема надійності.

## **ВСТУП**

### **Актуальність теми**

На сьогоднішній день світова спільнота вкладає величезні кошти в енергозберігаючі та екологічні технології, проте це ще не суттєво змінює ситуацію з величезними купами сміття.

Приблизно до 10% сміття використовують як вторинну сировину для виробництв, але те що залишилося необхідно якимось чином утилізувати. Використання полігонів має свої переваги і недоліки. До переваг слід віднести простоту та дешевизну методу. Недоліками є високий рівень екологічної небезпеки через виділення величезних обсягів метану та вуглекислого газу, висока вогненебезпечність та те, що для утилізації 1 млн. кілограмів відходів, що є річною нормою мегаполісу, необхідно виділити 150 гектарів землі. Найбільш екологічним засобом на сьогоднішній день є сміттєспалювальні заводи. Але з точки зору теплоенергетики, вони є складними технологічними об'єктами. До основних проблем слід віднести непостійність параметрів пари та води, складний хімічний процес перетворення сміття на паливо та відсутність номінального режиму роботи.

Звичайні ПІ – та ПІД - регулятори знижують ефективність системи через наявність ряду принципових недоліків. Це призводить до збільшення витрат палива та збільшення діапазону температурних меж, що зменшує ресурс елементів технологічного об'єкту. Через це оператори котельного цеху сміттєспалювального заводу виконують керування у ручному режимі. Тому використання сучасних законів регулювання, що забезпечують якісне регулювання в різних режимах є актуальною темою дослідження.

### **Мета і завдання дослідження**

Мета дослідження полягає у створенні системи автоматизованого керування бойлерною станцією сміттєспалювального заводу при динамічній зміні режимів.



Для досягнення мети дослідження необхідно виконати наступні завдання:

- опис загального технологічного процесу сміттєспалювального заводу та бойлерної станції;
- дослідження ТОК;
- ідентифікація та отримання математичних моделей;
- створення системи регулювання, що базується на регуляторі зі змінною структурою;
- моделювання отриманої САР та порівняння з аналогічними класичними рішеннями;
- оцінка стійкості отриманої САР;
- реалізація АСК на промислових ТЗА.

**Об'єкт дослідження** – процес автоматизованого керування тиском пари на вході бойлерної станції.

**Предмет дослідження** – САР тиску пари на вході до ТОК, що працює в нестационарному режимі.

### **Методи дослідження**

В даній роботі були застосовані методи ідентифікації об'єкта, методи статистичного аналізу, методи динамічного моделювання ТОК та теорія сучасного керування.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

У ході виконання завдань були отриманні нові наукові результати:

- Вперше, для даного типу об'єкта, була запропонована система автоматичного регулювання нестабільними вхідними параметрами за допомогою регулятора зі змінною структурою. Це дозволило стабілізувати параметри на вході, що позитивно вплинуло на якість регулювання об'єктом в цілому.

- Вперше була отримана математична модель об'єкту регулювання за рахунок проведення декількох експериментів в дозволені технологічних межах.

### **Практичне значення отриманих результатів**

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень була розроблена САР тиском пари на вході бойлерної станції сміттєспалювального заводу. Розроблена САР, алгоритм роботи представленого регулятора змінної структури та програмна реалізація системи пройшли перевірку на ТОВ «Вентконтрол» та передані для створення системи автоматичного керування бойлерної станції на сміттєспалювальному заводі «Енергія» (м.Київ) що підтверджено актом впровадження.

### **Апробація результатів магістерської роботи**

Основні положення роботи представлені на XVII міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики».

### **Особистий внесок здобувача**

Усі результати магістерської роботи, винесені на захист, автор отримав самостійно. Особистий внесок в публікаціях, виконаних у співавторстві: розробка регулятора зі змінною структурою; отримання розгінних характеристик об'єкта з подальшою ідентифікацією та створенням математичної моделі.

### **Публікації**

За результатами досліджень було опубліковано 1 статтю у науковому фаховому виданні України та 2 тези доповідей у збірнику матеріалів конференції.

# **1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЕМИ**

## **1.1. Сучасний стан галузі**

Галузь утилізації сміття в Україні знаходиться у жахливому стані. На сьогоднішній день, нараховують близько 4,5 тис офіційних та 11 тис неофіційних полігонів. Вони зберігають близько 76 млн м<sup>3</sup> сміття, яке можна використати в якості палива для отримання теплової та електричної енергії. Наразі є лише один діючий сміттєспалювальний завод – київський завод «Енергія». Він має застаріле обладнання та неефективні системи керування, тому, в даний момент, виконуються підготовчі роботи до його модернізації. Також в найближчий час планується побудова нових та реконструкція недіючих сміттєспалювальних заводів в м. Харків, м. Дніпро та м. Львів. Оскільки найбільший прибуток об'єкти даного виду отримують від продажу теплової та електроенергії, то саме в керування та регулювання технологічними процесами виробництва вкладаються великі кошти.

## **1.2. Загальна постановка і актуальність задачі дослідження**

Задачею даної магістерської роботи є розробка системи автоматизації бойлерної станції сміттєспалювального заводу з подальшим впровадженням системи на реальному виробництві. Також необхідно розробити систему автоматичного регулювання тиском на вході бойлерної станції на основі проведених досліджень об'єкта управління з метою стабілізації параметрів усієї системи. Нестабільність параметрів викликана нерівномірним розташуванням сміття на решітці та неоднорідністю сміття, що спалюються.

## **2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ**

### **2.1. Опис технологічної схеми об'єкту управління**

#### **2.1.1. Загальний опис сміттєспалювального заводу**

Сміттєспалювальний завод представляє собою велике підприємство, до складу якого входить:

- приміщення розвантаження сміття(ПРС);
- бункер – накопичувач для сміття;
- камера подрібнювання сміття;
- камера спалення;
- котел паровий;
- бойлерна станція;
- бункер шлаку;
- система видалення та очистки димових газів.

На підприємстві встановлено численні контрольно-вимірювальні прилади, які перевіряють склад та кількість речовин що викидаються в атмосферу. Вони постійно вимірюють вміст пилу, хлористого водню (HCl), діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), оксиду вуглецю (CO), двоокису вуглецю (CO<sub>2</sub>), оксиду азоту (NO<sub>x</sub>), води, кисню, а також органічного вуглецю. Усі технологічні процеси на заводі регулюються електронікою, ведеться постійне відеоспостереження, завдяки цілодобовій системі моніторингу безперервно реєструються дані щодо викидів у повітря. Такий контроль дозволяє домогтися найменшого екологічного впливу такого об'єкту на навколишнє середовище.

#### **2.1.2. Опис загального технологічного процесу**

Смітєвози привозять сміття до ПРС. У ПРС відбувається сортування сміття для відокремлення корисної сировини (папір, деякі пластики, запчастини електроніки, скло) та небезпечного сміття(пластик, ізоляції дротів, акумулятори, побутові балони та інше сміття, яке небезпечно спалювати).

Сміття, що залишилось відправляється до бункеру – накопичувача, що виконує роль паливного сховища. З бункеру – накопичувача сміття проходить через подрібнювач та за допомогою вогнетривкого транспортера поступає до камери спалення. Там воно, за допомогою домішування природнього палива (зазвичай мазут або природній газ) перетворюється на спеціальну суміш, яка спалюється на колосниковій решітці. Спалювання відбувається при температурі 1250°C. Отримана теплова енергія витрачається на паровий котел, що генерує пару. Пара йде на нагрівачі, що розміщені у бойлерній станції, та передає теплову енергію воді, що йде до споживача.

Після спалювання сміття, металовловлювачі вибирають феромагнетичні залишки, а все інше відправляється до бункеру шлаку. Далі шлаки та димові гази проходять через електрофільтри і утилізуються.

Схема сміттєспалювального заводу представлено на рисунку 1, де:

- A. Бункер – накопичувач для сміття;
- B. Приміщення розвантаження сміття(ПРС);
- C. Система переробки та подачі сміття;
- D. Система пальників;
- E. Котел паровий прямоточний;
- F. Паропровід;
- G. Бойлерна станція;
- H. Тепловідвід;
- I. Мультициклон;
- J. Золоуловлювач;
- K. Димосос;
- L. Труба димовидалення;
- M. Бункер зберігання недопаленого сміття;
- N. Система транспортування золи (внутрішній цех);
- O. Електрофільтри;
- P. Металовловлювачі.

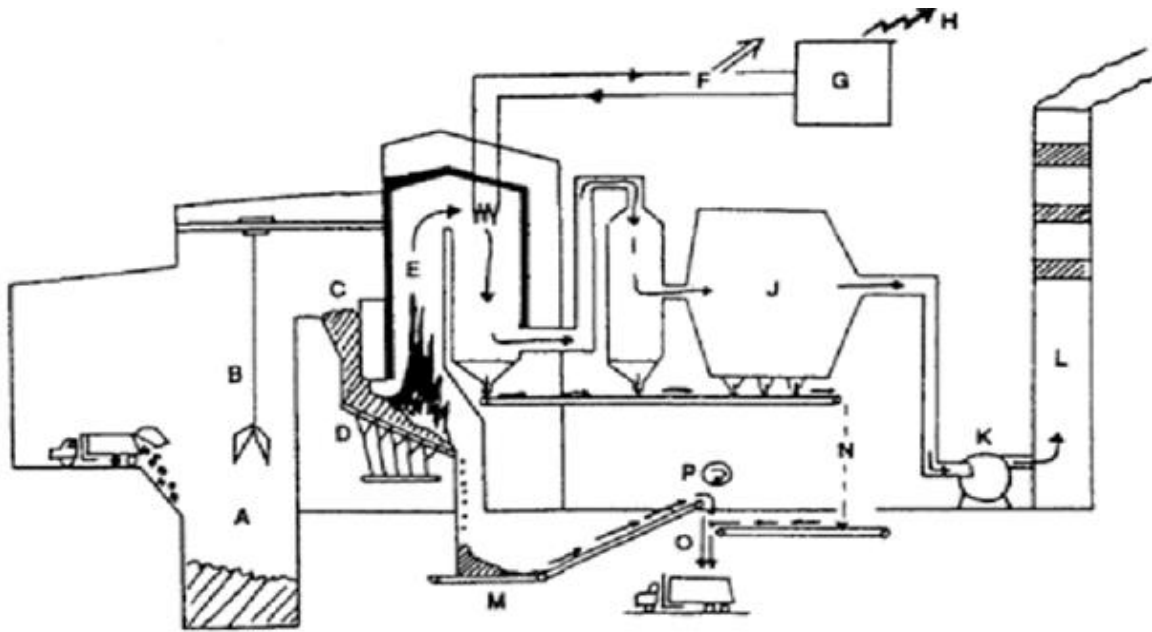


Рис. 2.1 Схема сміттєспалювального заводу

### 2.1.3. Опис технологічного процесу та характеристики

Основним об'єктом автоматизації є бойлерна станція сміттєспалювального заводу, функціональна схема якої представлена в [1]. Пара із парового котла проходить через запірні клапани та клапан, що регулює тиск на вході системи. Тиск пари, що йде на пароводяні теплообмінники (ПВТ), в яких нагрівається холодна вода з системи водопостачання, повинен бути у межах 3.5 – 4.5 бар для уникнення деформацій стінок теплообміну (вирівнюється тиск між паром та водою). Але котел виробляє пар з тиском у 8 – 12 бар. Гаряча вода транспортується на виході з ПВТ йде до споживача. Для утилізації залишкового тепла конденсату, що утворюється у ПВТ, використовується водо-водяні теплообмінники (ВВТ), що виконують ту ж саму функцію, що й ПВТ. Холодний конденсат збирається в резервуари конденсату (РК) та повертається до котлоагрегату. Технологічні характеристики об'єкта управління представленні у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Основні параметри ОУ

Параметр	Номінальне значення
Температура пари, °С	250
Температура води, °С	65 - 75
Температура гарячої води, °С	85 - 90
Витрата конденсату, т/год	60
Витрата гарячої води, т/год	800
Витрата води, т/год	800
Максимальна потужність, МВт	30
Рівень в резервуарах конденсату, мм	1980-2020

## 2.2. Отримання моделі об'єкту управління

Головною проблемою для нормальної роботи бойлерної станції є постійні перепади тиску пари на вході до системи. Ці збурення носять гармонічний характер і наближені до синусоїди з амплітудою 1,9 - 2,1 бар та періодом, який напряду залежить від швидкості згоряння порції сміття в котельному цеху.

Для описання цього збурення був проведений експеримент, який полягав у відслідковуванні змін тиску з періодом 10 с. Графік отриманої кривої представлений на рисунку 2.2.

В ході дослідження системи автоматичного регулювання тиску пари на вході до системи експериментальним шляхом була отримана розгінна характеристика. Для чистоти експерименту було вирішено подавати однорідне відсортоване сміття однаковими порціями з метою максимально зменшити вплив збурення. Отримана розгінна характеристика представлена на рисунку 2.3.



Рис.2.2. Графік залежності тиску пари на вході системи від часу спалювання сміття (зовнішнє збурення)

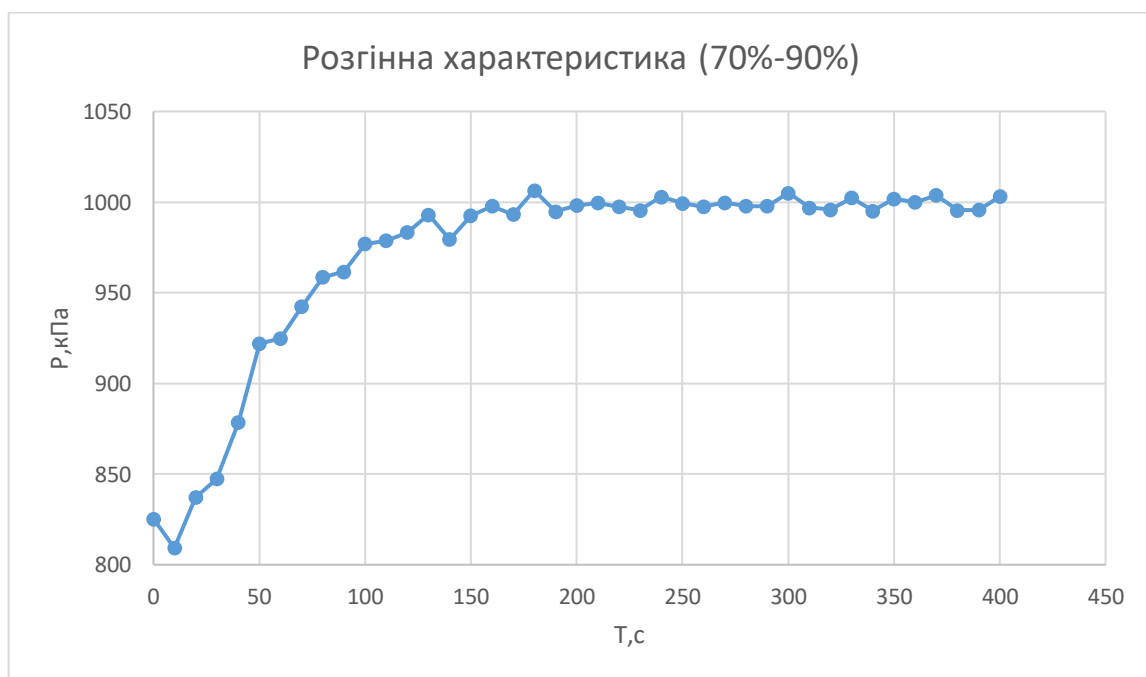


Рис.2.3. Розгінна характеристика тиску пари на вході системи при мінімальному зовнішньому збуренні

З отриманої розгінної характеристики за методом найменших квадратів була виконана апроксимація аперіодичною ланкою 2-го порядку.



$$W(p) = \frac{K * e^{-\tau p}}{T_1 * T_2 * p^2 + (T_1 + T_2)p + 1}$$

де  $K = 10$ ,  $\tau = 15$ ,  $T_1 = 10$ ,  $T_2 = 40$ .

Перехідна характеристика отриманого апроксимованого об'єкта представлена на рисунку 2.4.

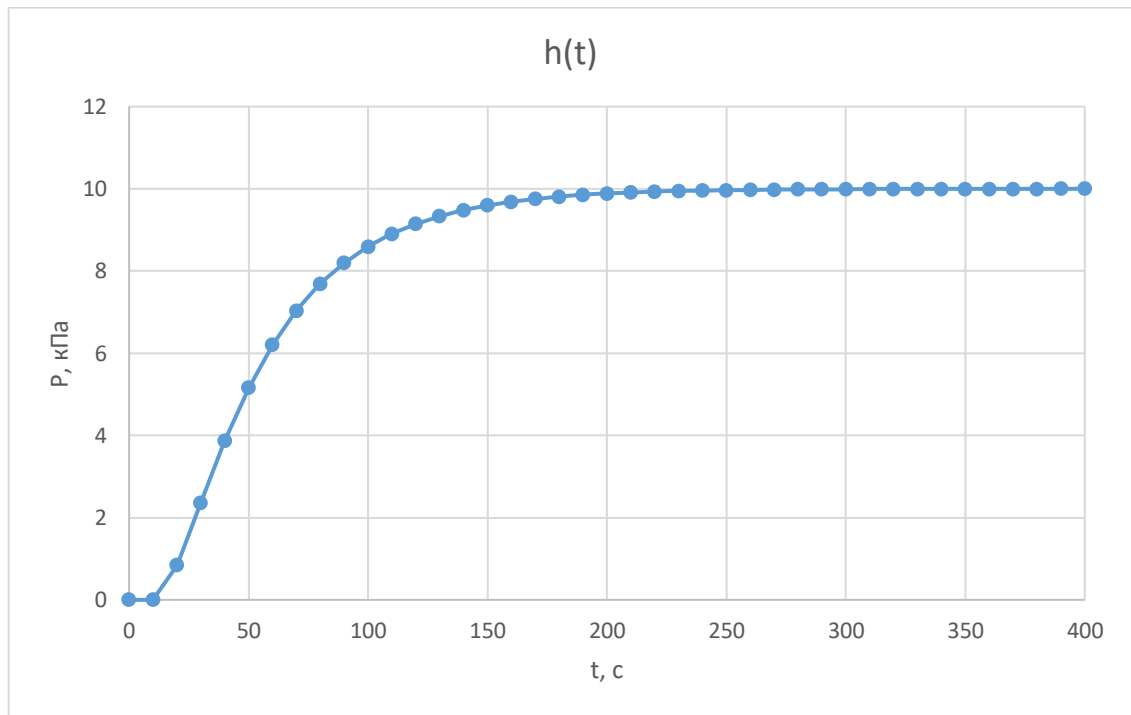


Рис.2.4. Перехідна характеристика отриманого об'єкта регулювання

Внутрішнім збуренням об'єкта регулювання є внутрішні опори паропроводу та конструкцій. Це входить до значення постійної часу  $T$ . Основним зовнішнім збуренням є гармонійні коливання тиску пари на вході до системи.

## 2.3. Призначення та функції створюваної системи

АСУТП розглянутої бойлерної станції повинна забезпечувати функції контролю, регулювання, сигналізації, захисту та блокування.

### 2.3.1. Функції контролю

Технологічні параметри об'єкту, які необхідно контролювати зведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Технологічні параметри, що контролюються

Параметр	Значення	Мін. Значення (попередження / аварія)	Макс. Значення (попередження/ аварія)
Температура води, що йде до споживача	90 °C	70 °C/50 °C	110° C/120 °C
Температура пари на входах ПВТ №1-4	250 °C	220 °C/210 °C	260° C/275 °C
Температура підігрітої води на вході ПВТ №1	75 °C	50 °C/40 °C	90° C/100 °C
Температура підігрітої води на вході ПВТ №2	75 °C	50 °C/40 °C	90° C/100 °C
Температура підігрітої води на вході ПВТ №3	75 °C	50 °C/40 °C	90° C/100 °C
Температура підігрітої води на вході ПВТ №4	75 °C	50 °C/40 °C	90° C/100 °C
Температура гарячої води на виході ПВТ №1	90 °C	70 °C/50 °C	110 °C/120 °C
Температура гарячої води на виході ПВТ №2	90 °C	70 °C/50 °C	110 °C/120 °C
Температура гарячої води на виході ПВТ №3	90 °C	70 °C/50 °C	110 °C/120 °C
Температура гарячої води на виході ПВТ №4	90 °C	70 °C/50 °C	110 °C/120 °C
Температура конденсату на виході ПВТ №1	95 °C	70 °C/60 °C	120 °C/135 °C
Температура конденсату на виході ПВТ №2	95 °C	70 °C/60 °C	120 °C/135 °C
Температура конденсату на виході ПВТ №3	95 °C	70 °C/60 °C	120 °C/135 °C
Температура конденсату на виході ПВТ №4	95 °C	70 °C/60 °C	120 °C/135 °C
Температура підігрітої води на виході ВВТ №1	85 °C	60 °C/40 °C	100 °C/115 °C

Продовження табл.2.2

Температура підігрітої води на виході ВВТ №2	85 °С	60 °С/40 °С	100 °С/115 °С
Температура конденсату на вході ВВТ №1	95 °С	80 °С/60 °С	120 °С/135 °С
Температура конденсату на вході ВВТ №2	95 °С	80 °С/60 °С	120 °С/135 °С
Температура конденсату на виході ВВТ №1	75 °С	60 °С/50 °С	110 °С/120 °С
Температура конденсату на виході ВВТ №2	75 °С	60 °С/50 °С	110 °С/120 °С
Температура води на вході до ВВТ №1	60 °С	40 °С/30 °С	80 °С/90 °С
Температура води на вході до ВВТ №2	60 °С	40 °С/30 °С	80 °С/90 °С
Тиск пари на входах ПВТ №1-4	300 - 500кПа	200кПа/100 кПа	700кПа/1000 кПа
Тиск води після живильних насосів	350 - 450кПа	200кПа/100 кПа	500кПа/600 кПа
Тиск конденсату, що йде до заводу	200 кПа	200кПа/100 кПа	500кПа/600 кПа
Тиск конденсату на виходах ВВТ №1-2	300 кПа	200кПа/100 кПа	500кПа/600 кПа
Витрата конденсату, що йде до заводу	60 т/год	45 т/год/ 40 т/год	80 т/год/ 85 т/год
Витрата гарячої води, що йде до споживача	800 т/год	700 т/год/ 500 т/год	850 т/год/ 900 т/год
Витрата води на вході в систему	800 т/год	700 т/год/ 500 т/год	850 т/год/ 900 т/год
Рівень в резервуарі №1-2	2000 мм	1800мм/1000мм	2200мм/2500мм

Всі контрольовані параметри залежно від завдання повинні бути у допустимих межах у стаціонарному режимі.

### 2.3.2. Функції регулювання

АСУТП повинна регулювати наступні параметри:

- 1) температура води на виході з ПВТ №1 – 4.

Сигнали від датчиків температури води передаються на контролер. Вводяться додаткові сигнали від датчиків температури пари на входах та виходах в теплообмінники. Вводиться додаткові сигнали від датчиків температури води на входах в теплообмінники. Контролер обробляє отримані данні та формує регулюючу дію. Регулювання здійснюється за допомогою аналогових клапанів, що встановлюються на паропроводах на входах ПВТ №1-4 і на водопроводах на виходах ПВТ №1-4.

- 2) температура води на виході з ВВТ №1-2.

Сигнали від датчиків температури води передаються на контролер. Вводяться додаткові сигнали від датчиків температури конденсату на входах та виходах в теплообмінники. Вводиться додаткові сигнали від датчиків температури води на входах в теплообмінники. Контролер обробляє отримані данні та формує регулюючу дію. Регулювання здійснюється за допомогою аналогових клапанів, що встановлюються на водопроводах на входах та виходах ВВТ №1-2.

- 3) рівень в акумулюючих резервуарах конденсату.

Сигнали від датчиків рівня в резервуарах конденсату передаються на контролер. Додатково вводиться сигнал від датчика витрати конденсату. Контролер обробляє отримані данні та формує регулюючу дію. Реалізується система, що здійснює регулювання за допомогою аналогових клапанів на входах резервуарів конденсату.

- 4) тиск пари на вході до бойлерної станції.

Сигнали від датчиків тиску пари на вході до системи передаються в контролер. Контролер обробляє отримані данні та формує регулюючу дію.

Реалізується система, що здійснює регулювання за допомогою аналогового клапану на вході до системи.

### **2.3.3. Функції сигналізації**

У розробленій системі необхідно передбачити технологічну сигналізацію двох типів:

1. Попереджувальна сигналізація, яка дає сигнал, якщо контрольований параметр відрізняється від номінального значення або виходить за межі номінального допустимого діапазону та генерує попередження для інформування персоналу.

2. Аварійна сигналізація, яка дає сигнал, якщо контрольований параметр досягає критичного значення. Спрацювання призводить до відпрацювання алгоритмів автоматичного захисту. Сигналізація виконана світлозвуковою. Звуковий сигнал призначений для привертання уваги персоналу, а світлова – для візуального виділення параметра, що вийшов за межі.

В таблиці 2.2 наведено відповідні межі відхилень для кожного контрольованого параметра.

### **2.3.4. Функції автоматичного захисту і блокування**

Автоматичні захисти призначені для запобігання аварії обладнання у випадку відхилення параметрів за граничні значення або при відмові окремих елементів устаткування. Захист спрацьовує тоді, коли оператор не встигає відреагувати. В цьому разі контролер виконує алгоритми захисту та блокування. У разі припинення подачі живлення спрацьовує клапан примусового викиду пари на вулицю.

При відхиленні будь-якого з контролюючих параметрів від норми відбувається негайна реєстрація даного параметра червоним кольором із зазначенням часу відхилення. При відхиленні параметра до аварійної межі, загоряється відповідне табло, включається гудок аварійної сигналізації і виконується алгоритм по її усуненню.

### 2.3.5. Функції супервізорного рівня

Розроблена АСУТП є дворівневою. Нижній рівень являє собою контролер з вимірювальною та виконавчою апаратурою, що здійснює неперервне регулювання і програмно-логічне управління. Тут виконуються функції контролю, регулювання, захисту та блокування. У свою чергу верхній рівень АСУТП – супервізорний. Він являє собою HMI/SCADA – систему, що повинна реалізовувати такі функції:

- обмін даними з контролерами;
- архівування даних;
- візуалізація технологічного процесу у вигляді мнемосхем;
- ведення історичних аварій і аварій реального часу;
- побудова історичних трендів і трендів реального часу;
- обчислення і видача завдання в контури регулювання.

На цьому рівні реалізуються функції сигналізації та функції регулювання.

### 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

#### 3.1. Функціональна структура системи управління об'єктом

На рисунку 3.1 представлена функціональна структура системи управління бойлерною станцією. Система автоматизації складається з двох рівнів – локальної автоматизації (контролер, вимірювальні пристрої ВП виконавчі механізми ВМ та панелі оператора) та супервізорного рівня (система диспетчеризації).

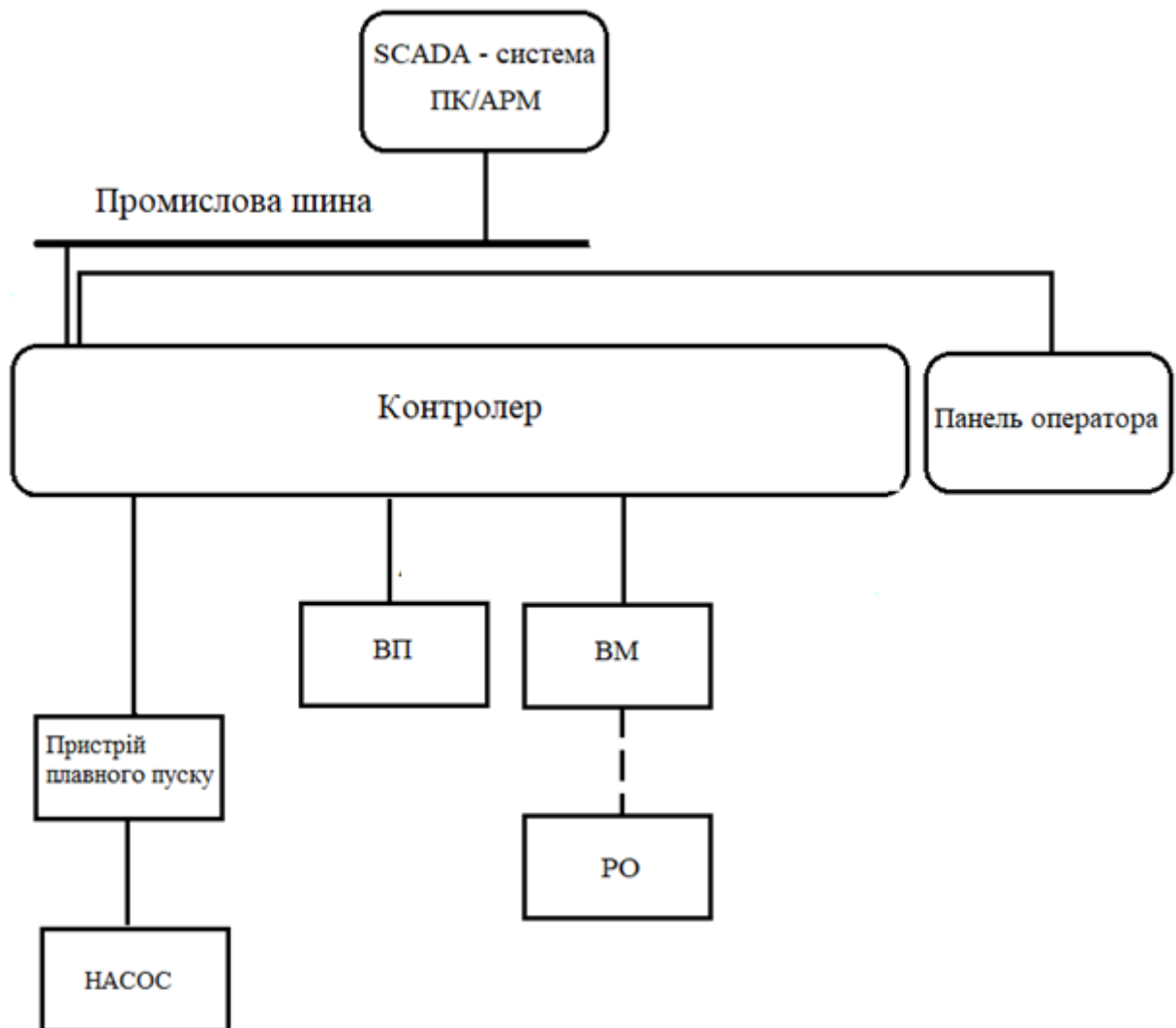


Рис. 3.1 Функціональна структура системи автоматизації бойлерної станції сміттєспалювального заводу.

### 3.2. Вимоги до реалізації функцій ПТКЗА

1) Програмно – технічний комплекс повинен відповідати наступним стандартам у повній мірі:

- ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Автоматизація технологічних процесів. Умовні позначення пристроїв та засобів автоматизації в схемах.
- ДСТУ Б А.2.4-3:2009. СПДБ. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
- ІЕС 60073 Основні принципи і принципи безпеки для людино-машинного інтерфейсу, маркування та ідентифікації. Принципи кодування індикаторів та виконавчих механізмів
- ІЕС 61131 Вимірювання та контроль виробничого процесу. ПЛК.
- ЕС 61298 Прилади для вимірювання і контролю процесу. Загальні методи і процедури оцінки ефективності.
- ІЕС 61158 Промислові мережі зв'язку. Специфікації польовий шини.

2) Система, що розроблюється повинна виконувати всі, зазначені в пункті 2.3, функції.

а) Для реалізації функції контролю необхідно:

- збір і первинна обробка технологічної інформації від об'єкту;
- контроль, реєстрація та зберігання основних параметрів технологічного процесу;
- відтворення технологічної інформації на моніторах автоматизованих робочих місць оператора АСУТП в табличній, мнемонічною, графічною та текстовою формі;
- візуалізація стану технологічного обладнання на панелі оператора.

б) Для реалізації функцій регулювання необхідно:

- безперервне, централізоване управління і контроль стану технологічного устаткування в реальному часі;
- підтримку у встановлених межах значень регульованих параметрів технологічного процесу;



- пуск / зупинка обладнання в автоматизованому режимі;
- дистанційне і місцеве (з робочої станції) управління системою;
- алгоритмічне управління технологічними процесами у системі;
- забезпечити високу якість регулювання.

с) Для реалізації функцій сигналізації, автоматичного захисту та блокування необхідно:

- Забезпечити сповіщення персоналу у наступних випадках:
  - при виході значення фізичної величини за межі, які визначають якість технологічного процесу;
  - при виході значення фізичної величини за межі, які визначають безпеку роботи технологічного обладнання;
  - при відмові окремих елементів устаткування;
  - при втраті напруги у системі живлення.
- Забезпечити неспрацьовування сигналізації при пусках та зупинках технологічного устаткування, згідно встановлених технологічних норм, що визначені для відповідних режимів.
- Забезпечити виконання алгоритмів захисту, згідно таблиці 3.1.
- Забезпечити можливість генерування звіту про виниклі в системі аварійні ситуації за вибраний проміжок часу.
- Забезпечити формування, збереження і видача оперативних і архівних даних про стан обладнання та про контрольовані параметри технологічного процесу.

Таблиця 3.1. Аварійні ситуації та алгоритми

Параметр	Аварійна ситуація	Алгоритм
Температура води, що йде до споживача	Вихід за нижню межу	Алгоритм 1
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 1
Температура пари на входах ПВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 1
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 1

Продовження табл.3.1

Температура підігрітої води на входах ПВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 3
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 4
Температура конденсату на виходах ПВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 3
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 4
Температура гарячої води на виходах ПВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 1
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 2
Температура підігрітої води на виходах ВВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 5
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 6
Температура конденсату на виходах ВВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 5
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 6
Температура води на входах ВВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 5
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 6
Температура конденсату на виходах ВВТ	Вихід за нижню межу	Алгоритм 5
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 6
Тиск гарячої води, що йде до споживача	Вихід за нижню межу	Алгоритм 2
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 1
Тиск пари на вході в систему	Вихід за нижню межу	Алгоритм 2
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 1
Тиск пари на вході в систему	Вихід за нижню межу	Алгоритм 2
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 1
Тиск води до живильних насосів	Вихід за нижню межу	Алгоритм 7
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 8
Тиск води після живильних насосів	Вихід за нижню межу	Алгоритм 8
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 7
Тиск конденсату, що йде до резервуару	Вихід за нижню межу	Алгоритм 7
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 8
Тиск конденсату, що йде до заводу	Вихід за нижню межу	Алгоритм 7
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 8
Витрата конденсату, що йде до заводу	Вихід за нижню межу	Алгоритм 7
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 8
Витрата води на вході в систему	Вихід за нижню межу	Алгоритм 7
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 8
Рівень конденсату в резервуарах	Вихід за нижню межу	Алгоритм 9
	Вихід за верхню межу	Алгоритм 9

Алгоритм 1: При виникненні аварійної ситуації, ПВТ №1-4 та ВВТ №1-2 включаються у черговому режимі. Якщо за визначений час аварія не зникне, то подача пари на ПВТ№1-4 припинається і через деякий час відключаються всі насоси (затримка на вимкнення необхідна для зняття теплоти). Далі система повністю вимикається (перехід системи у стан вимкнено).

Алгоритм 2: При виникненні аварійної ситуації, на відповідному ПВТ зменшується подача підігрітої води та збільшується подача пари. Якщо за визначений час аварія не зникне, то подача пари та підігрітої води на відповідний ПВТ припинаються (вимикання ПВТ). Система працює далі.

Алгоритм 3: При виникненні аварійної ситуації, на відповідному ПВТ збільшується подача підігрітої води та зменшується подача пари. Якщо за визначений час аварія не зникне, то подача пари та підігрітої води на відповідний ПВТ припинаються (вимикання ПВТ). Система працює далі.

Алгоритм 4: При виникненні аварійної ситуації, на відповідному ВВТ зменшується подача води та збільшується подача конденсату. Якщо за визначений час аварія не зникне, то подача пари та підігрітої води на відповідний ВВТ припинаються (вимикання ВВТ). Система працює далі.

Алгоритм 5: При виникненні аварійної ситуації, на відповідному ВВТ збільшується подача води та зменшується подача конденсату. Якщо за визначений час аварія не зникне, то подача пари та підігрітої води на відповідний ВВТ припинаються (вимикання ВВТ). Система працює далі.

Алгоритм 6: При виникненні аварійної ситуації, на короткий проміжок часу насоси працюють у дежурному режимі. Якщо за визначений час аварія не зникне, то насоси зменшують продуктивність до мінімальної. Система зупиняється і насоси вимикаються.

Алгоритм 7: При виникненні аварійної ситуації, на короткий проміжок часу насоси зменшують продуктивність до мінімальної. Якщо за визначений час аварія не зникне, то система зупиняється і насоси вимикаються.

Алгоритм 8: При виникненні аварійної ситуації, на короткий проміжок часу насоси працюють у черговому режимі. Якщо за визначений час аварія не зникне, то система зупиняється, а насоси працюють доки параметр не повернеться до допустимих меж. Після насоси вимикаються.

3) Використання контролерів відомих фірм виробників із належним рівнем технічної підтримки і сервісного обслуговування.

4) Використання стандартних інтерфейсів передачі інформації на базі відкритих протоколів обміну даними, а саме аналогові сигнали для введення інформації необхідно використовувати уніфікований сигнал 4–20 мА, 0–10 В.

5) ВМ мають керуватися стандартними уніфікованими сигналами 0–10 В або 4–20 мА, забезпечувати достатню точність регулювання, а також мати обернений зв'язок про положення РО.

6) Для обміну між операторською станцією і нижнім рівнем АСУ має бути створена локальна мережа Ethernet.

7) У разі розширення системи необхідно передбачити підтримку протоколу ProfiBus, Profinet I/O, Modbus RTU або Modbus TCP/IP на основі інтерфейсів RS-232, RS-485, Ethernet.

8) Повинна бути можливість керування системою у ручному режимі з або без участі контролера. Перехід у ручний режим повинен відслідковуватись за допомогою контролера та відображатись в SCADA програмі.

9) Повинна бути передбачена сигналізація як на фізичному рівні так і на програмному, тобто звукова сигналізація при критичній ситуації, а також у SCADA програмі параметр який вийшов за допустимі межі повинен змінити колір відображення червоний, щоб звернути на себе увагу оператора.

10) Як і в програмі контролера так і в SCADA програмі має бути реалізоване переключення на ручне керування.

11) Використання спеціалізованих пакетів SCADA провідних виробників таких систем, які підтримують протоколи, що використовуються в даній системі.

12) Програма SCADA системи має бути досить інформативною, повинні бути присутні наступні вікна: мнемосхема об'єкту, вікно трендів, панель алармів з можливістю їх квітування, вікно налаштувань.

13) Використання стандартних апаратних модулів відомих фірм-виробників з налагодженою системою сервісного обслуговування.

14) Використання базових програмних засобів реального часу (операційні системи) згідно зі стандартами Міжнародної електротехнічної комісії.

15) Введення архіву — бази даних всіх параметрів регулювання, а також легкий доступ до цих даних для подальшого використання їх для звітів.

16) Виконання техніко-економічних розрахунків, що базуються на отриманих від об'єкту даних. Виведення результатів у звіті.

17) Напрацювання на відмову інформаційної функції повинно бути не менше 15000 годин, керуючої функції 15000 годин.

### **3.3. Розробка технічного, алгоритмічного та програмного забезпечення системи управління**

Інформаційне забезпечення розроблювальної системи управління включає в себе засоби збору, обробки та збереження інформації про стан технологічних параметрів об'єкту управління.

Сигнали стану технологічних параметрів, які вводяться в контролер зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2. Перелік вхідних параметрів ОУ

<b>Параметр</b>	<b>Діапазон</b>	<b>Точність</b>	<b>Тип сигналу</b>	<b>Призначення параметру</b>
Температура води, що йде до споживача	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання
Температура повітря на вулиці	-40...+50°C	0.5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Температура пари на входах ПВТ	0...+400 °C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання
Температура підігрітої води на входах ПВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Температура гарячої води на виходах ПВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання
Температура конденсату на виходах ПВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль

Продовження табл.3.2.

Температура конденсату на входах ВВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Температура підігрітої води на виходах ВВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання
Температура конденсату на виходах ВВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Температура води на входах ВВТ	0...+150°C	0,5	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск пари на входах ПВТ	0...500кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск пари на вході до системи	0...1000кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск гарячої води, що йде до споживача	0...500кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск води до живильних насосів	0...500кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск води після живильних насосів	0...500кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск конденсату, що йде до заводу	0...500кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Тиск конденсату на входах резервуарів	0...500кПа	1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль
Витрата конденсату, що йде до заводу	0...60 т/год	0,75	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання
Витрата води на вході в систему	0...800 т/год	0,75	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання
Рівень в резервуарах	0...2000мм	0.1	Аналоговий 4 - 20 мА	Контроль Регулювання

Дані про датчики, вимірювальні пристрої та нормуючі перетворювачі зібрані у «Замовній специфікації».

Сигнали регулюванн технологічних параметрів, які виводяться з контролера зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3. Перелік вихідних параметрів ОУ

Параметр	Діапазон	Тип сигналу	Призначення параметру
Вкл./Викл. насосів	Вкл./Викл.	Дискретний	Керування
Положення регулюючих органів витрати пари на входах ПВТ	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати гарячої води на виходах ПВТ	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати гарячої води, що йде до споживача	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати води, що йде до системи	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати конденсату на входах ВВТ	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати води на входах ВВТ	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати води на виходах ВВТ	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати конденсату на входах резервуарів	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання
Положення регулюючих органів витрати пари, що йде від заводу	0...100%	Аналоговий 0...10В	Регулювання

Для реалізації функції локального управління, а також для збору інформації, що передається на робочу станцію оператора, модуль ПЛК повинен мати як мінімум 40 аналогових входів 4–20 мА, 25 аналогових входів 0–10 В та 16 дискретних входів 24VDC, 32 аналогових виходи 0–10 В та 16

дискретних виходів 24VDC. Для розширення системи передбачити можливість встановлення додаткових модулів I/O та підтримку протоколу ProfiBus, ProfiBus Master, Modbus RTU або Modbus TCP/IP на основі інтерфейсів RS-232, RS-485 або Ethernet для обміну даними між контролерами.

Розробка програмного забезпечення для системи повинна повністю описувати алгоритми керування в повній мірі. Також повинна бути можливість розробки SCADA системи у середовищі програмування.

### 3.4. Розрахункова частина

В ході останніх досліджень, на представленому типі об'єктів було виявлено суттєві деформації більшої частини теплообмінників, що викликані перепадами тиску та гідроударами.

З метою покращення якості регулювання тиску на вході системи запропоновану використати регулятор змінної структури (РЗС). Спочатку необхідно визначити передаточну функцію об'єкту та його збурення.

Для опису збурення був проведений експеримент, який полягав у відслідковуванні змін тиску з періодом 10 с. Графік отриманої кривої представлений на рисунку 3.2.



Рис.3.2. Графік залежності тиску пари на вході системи від часу спалювання сміття (зовнішнє збурення)



Згідно з публікацією [1], перепади тиску на вході системи викликають великі амплітуди перерегулювання при експлуатації пароводяних та водоводяних теплообмінників. Автор представив свої дослідження водо-водяного теплообмінника з урахуванням зміни тиску на вході системи. Для регулювання температури автором була розроблена складна система адаптивного регулювання. Згідно з публікацією [2], були виділені і дослідженні декілька методів синтезу регулятора змінної структури, в наслідок чого, було синтезовано регулятор змінної структури з універсальною логікою перемикання.

В ході дослідження системи автоматичного регулювання тиску пари на вході до системи експериментальним шляхом була отримана розгінна характеристика. Для чистоти експерименту було вирішено подавати однорідне відсортоване сміття однаковими порціями з метою максимально зменшити вплив збурення. Отримана розгінна характеристика представлена на рисунку 3.3.

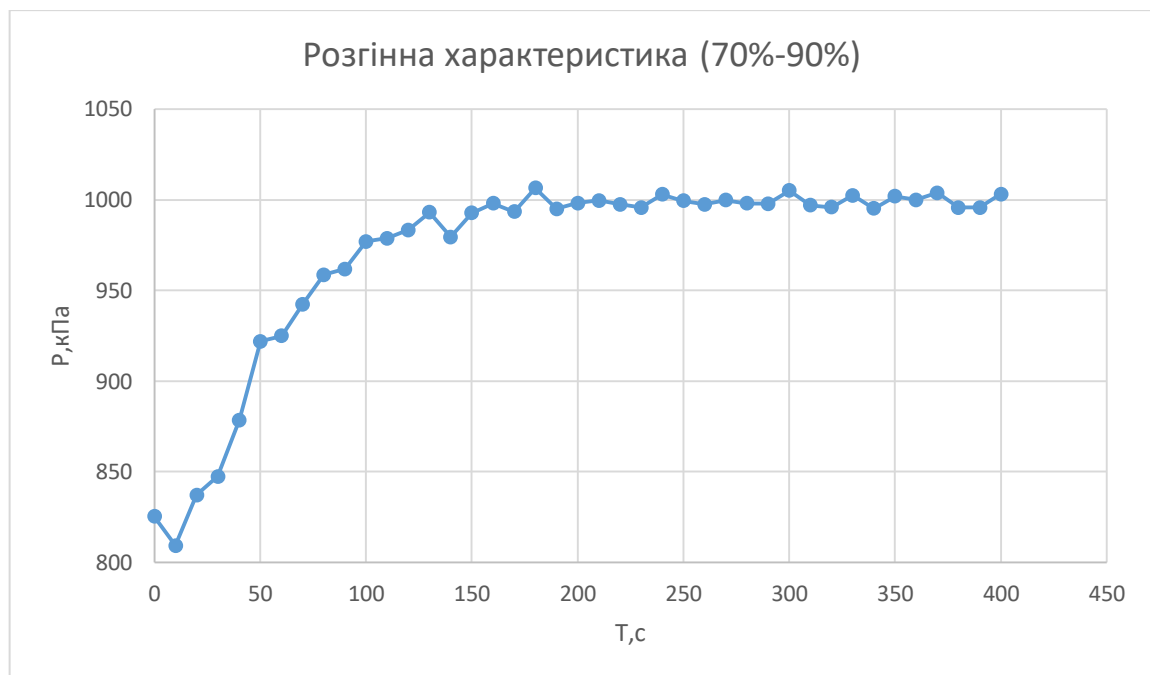


Рис.3.3. Розгінна характеристика тиску пари на вході системи при мінімальному зовнішньому збуренні

З отриманої розгінної характеристики методом апроксимації аперіодичною ланкою 2-го порядку була отримана передаточну функцію виду:

$$W(p) = \frac{K * e^{-\tau p}}{T_1 * T_2 * p^2 + (T_1 + T_2)p + 1}$$

де  $K = 10$ ,  $\tau = 15$ ,  $T_1 = 10$ ,  $T_2 = 40$ .

Перехідна характеристика отриманого апроксимованого об'єкта представлена на рисунку 3.4.

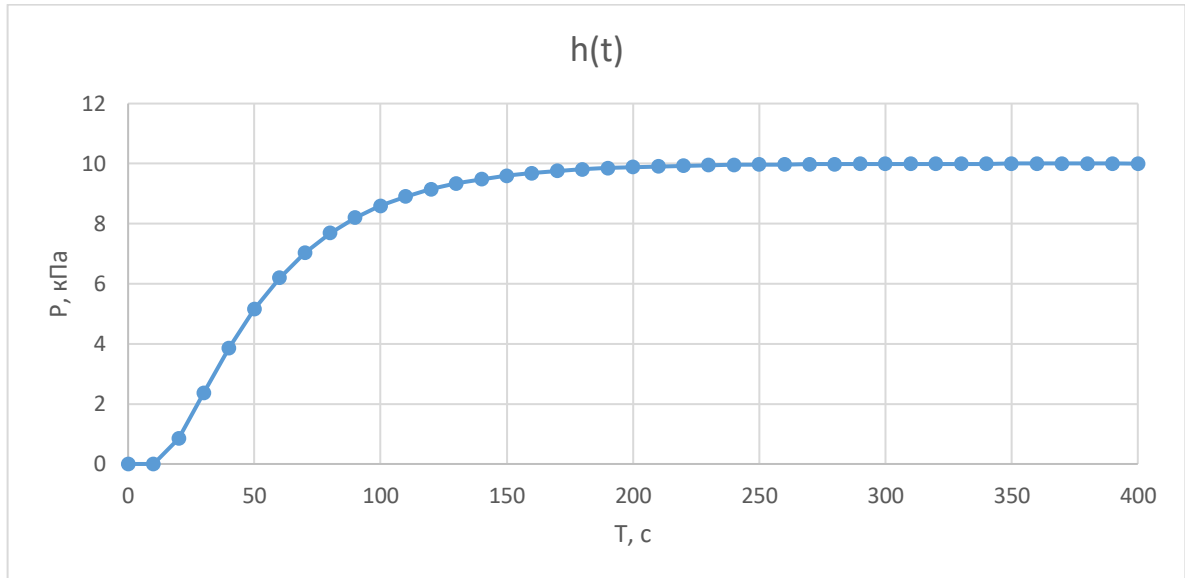


Рис.3.4. Перехідна характеристика отриманого об'єкта регулювання

### Використання системи регулювання із ПІ – регулятором

Для аналізу роботи системи застосовувались вбудовані засоби аналізу одноконтурної замкненої системи середовища MATLAB для розрахунку налаштувань ПІ – регулятора за обраною передаточною функцією. В якості завдання використовується ступінчасте збурення, а в якості зовнішнього збурення – сума сигналів гармонічного коливання з амплітудою 0.2 та частотою 0.02 Гц та сигналу білого шуму. Отримана модель системи представлена на рисунку 3.5. Регулятор має наступний вигляд:

$$W(p) = K_p \left( 1 + T_i * \frac{1}{p} \right), \text{ де } K_p = 0,065, T_i = 0,022.$$

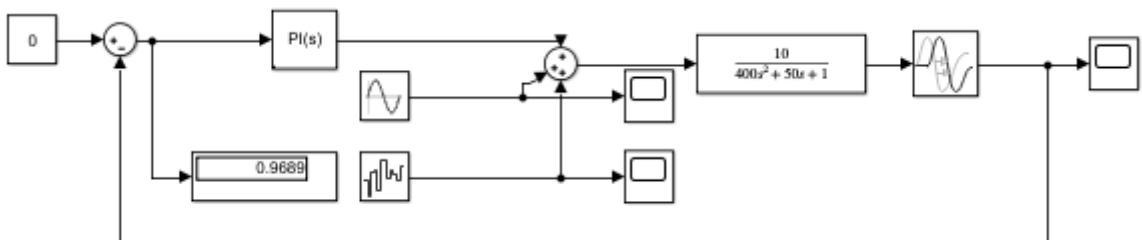


Рис.3.5. Модель системи регулювання тиску з традиційним ПІ-регулятором

В ході аналізу отриманих результатів було виявлено, що застосування традиційного ПІ – регулятор має вагомні недоліки. Отримана перехідна характеристика представлена на рисунку 3.6.

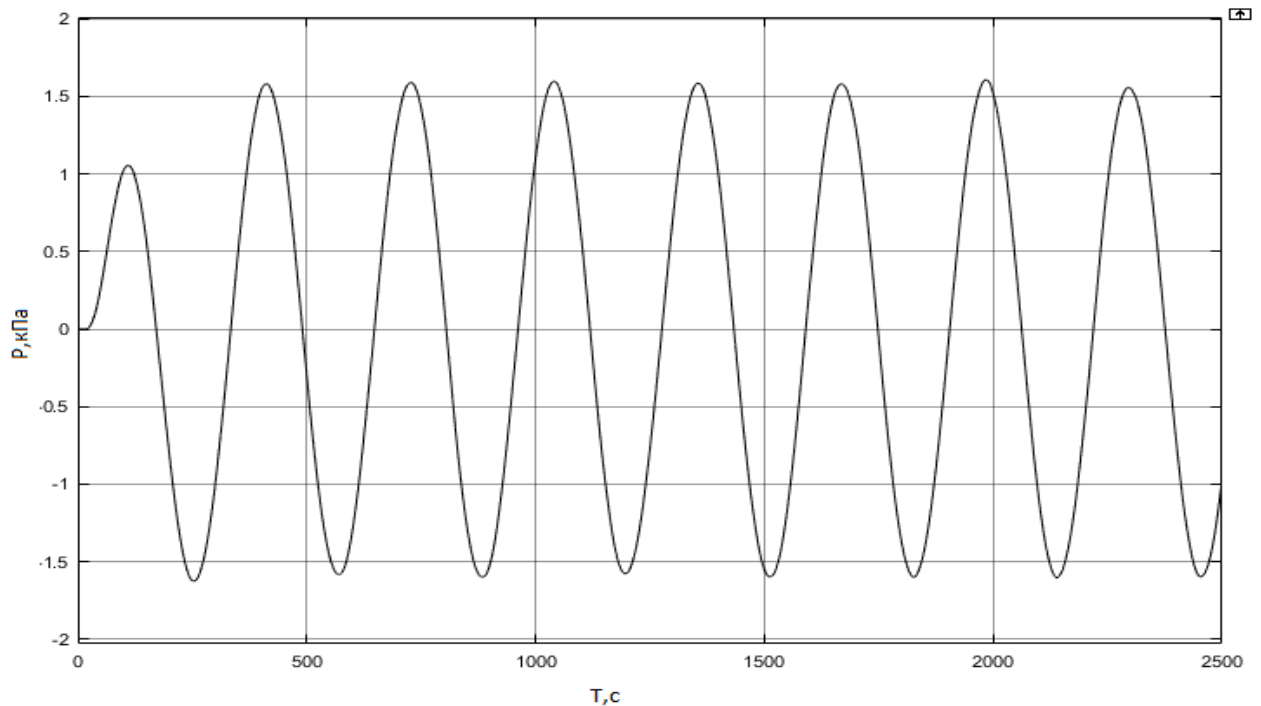


Рис.3.6. Перехідна характеристика системи регулювання тиску за каналом збурення-вихід з ПІ – регулятором

На рисунку 3.6 видно, що амплітуда коливань тиску є значною при застосуванні ПІ - регулятора, а отже представлене рішення є неефективним. Прямі показники якості представлені в таблиці 3.4.

Табл.3.4. Прямі показники якості

Показник	Значення
Статична похибка	-
Динамічна похибка	1,05
Час регулювання	-
Ступінь затухання	-
Перерегулювання	2%

Для перевірки поведінки системи регулювання при змінні параметрів об'єкта, виконаємо варіювання  $K$ ,  $T_1$  та  $T_2$  в межах  $\pm 20\%$ . Перехідні характеристики представлені на рисунку 3.7-3.9.

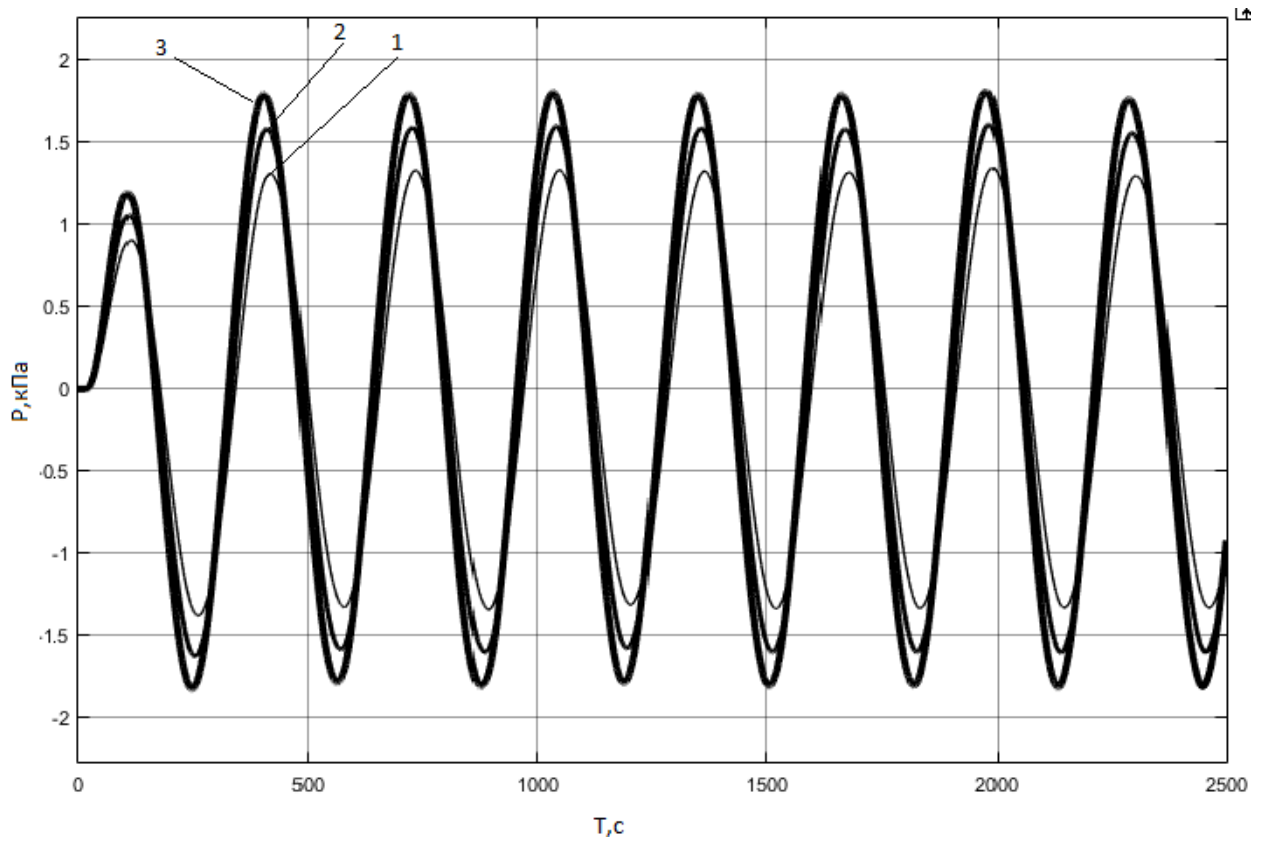


Рис. 3.7. Перехідні характеристики з ПІ - регулятором при варіюванні  $K$   
(1-  $K = 8$ ; 2 -  $K = 10$ , 3 -  $K = 12$ )

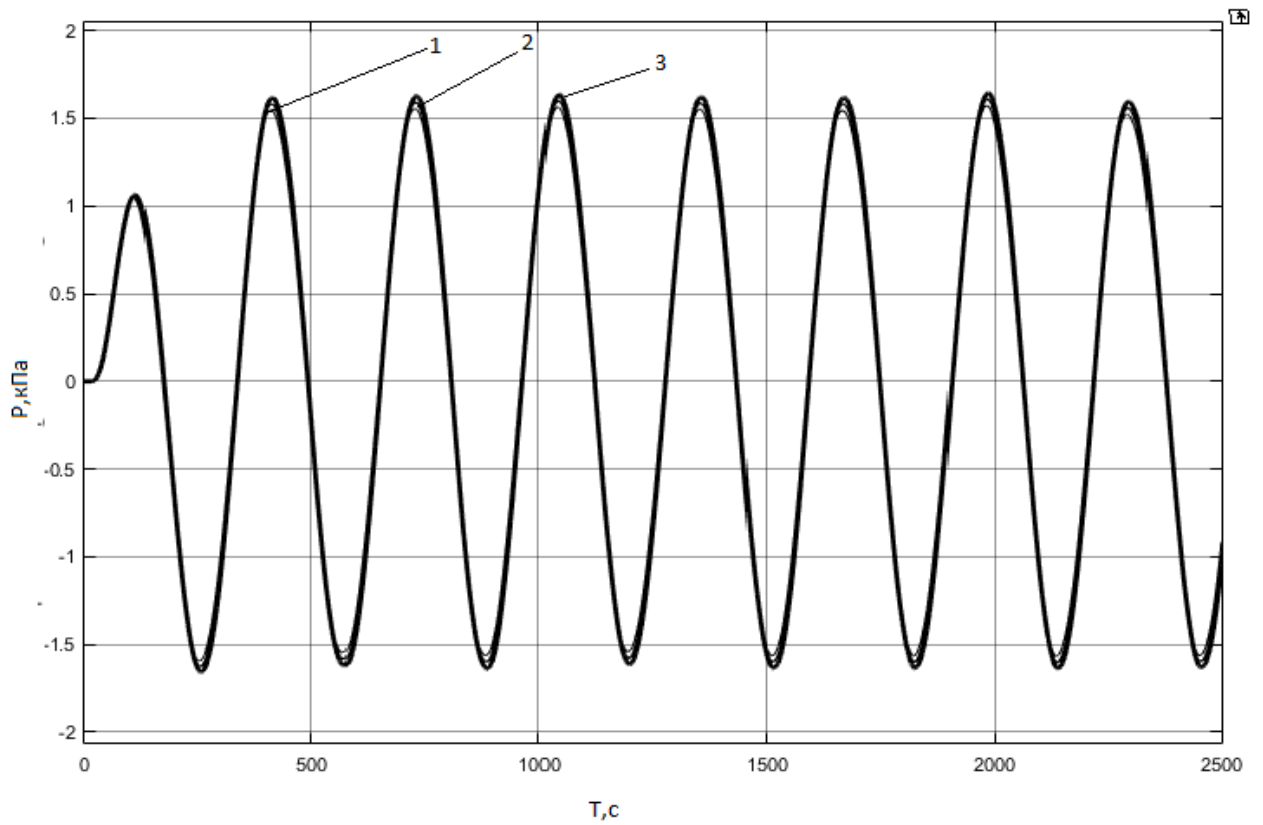


Рис. 3.8. Перехідні характеристики з ПІ - регулятором при варіюванні  $T_1$   
(1 -  $T_1 = 8$ ; 2 -  $T_1 = 10$ ; 3 -  $T_1 = 12$ )

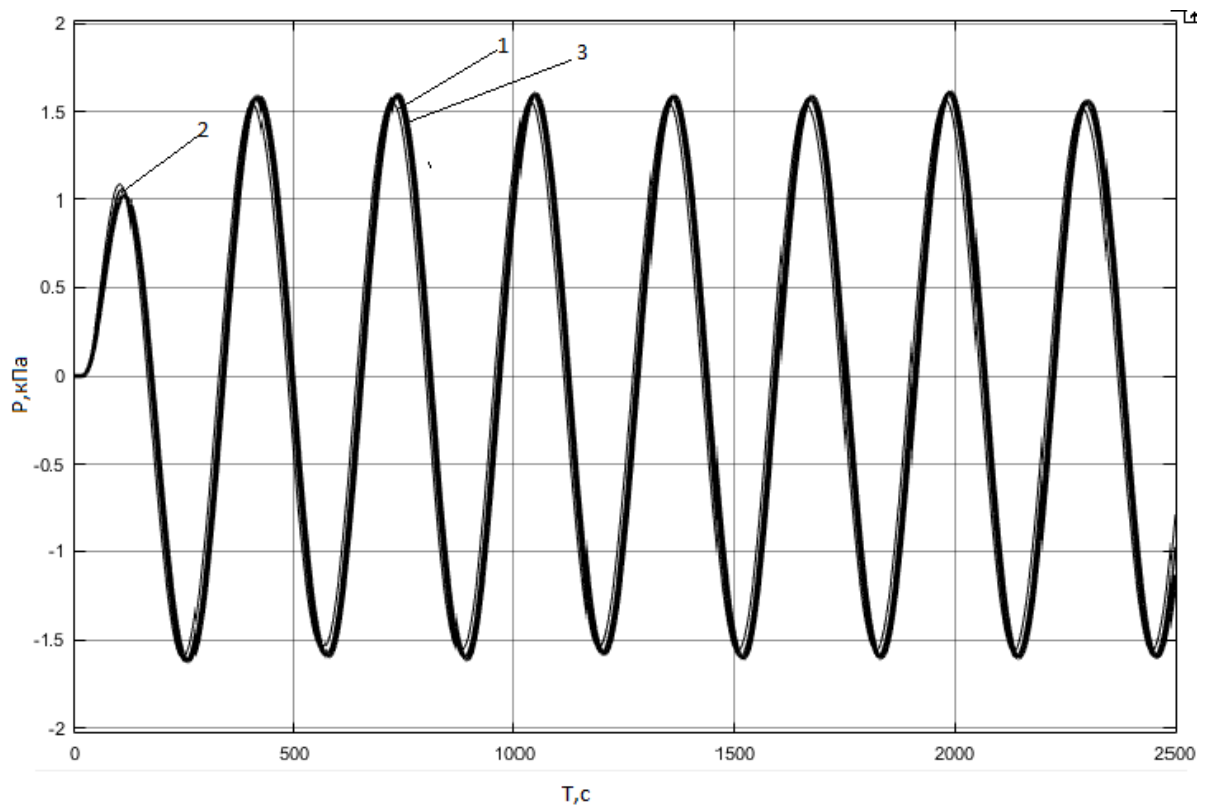


Рис. 3.9. Перехідні характеристики з ПІ - регулятором при варіюванні  $T_2$  (1 –  $T_2 = 32$ ; 2 –  $T_2 = 40$ ; 3 –  $T_2 = 48$ )

Отриманні результати підтверджують незадовільну якість регулювання САР із ПІ – регулятором.

Щоб використовувати РЗС необхідно розбити перехідну характеристику об'єкта на режими, що представлені в таблиці 1, де  $\Delta D$  - границя переходу між режимами,  $\varepsilon$  - сигнал помилки.

Таблиця 3.6. Логіка перемикання налаштувань регулятора

Регулятор режиму	Режим			
	$\varepsilon > \Delta D$	$\varepsilon < -\Delta D$	$\varepsilon < \Delta D$ $\varepsilon \geq 0$	$\varepsilon > -\Delta D$ $\varepsilon \leq 0$
1	True	False	False	False
2	False	True	False	False
3	False	False	True	False
4	False	False	False	True

Одноконтурна система із регулятором змінної структури представлена на рисунку 3.10. Використовуючи емпіричний метод отримуємо достатньо точні налаштування контролерів, що представлені в таблиці 3.7. При змінні амплітуди коливань зовнішнього збурення налаштування регулятора

залишаються незмінні, а все зводиться до коригування границі перемикання між режимами. У разі вагової зміни параметрів об'єкта необхідно провести дослідження об'єкта і в разі необхідності частково або повністю налаштовувати нові параметри регулятора. Схема регулятора змінної структури представлено на рисунку 3.11.

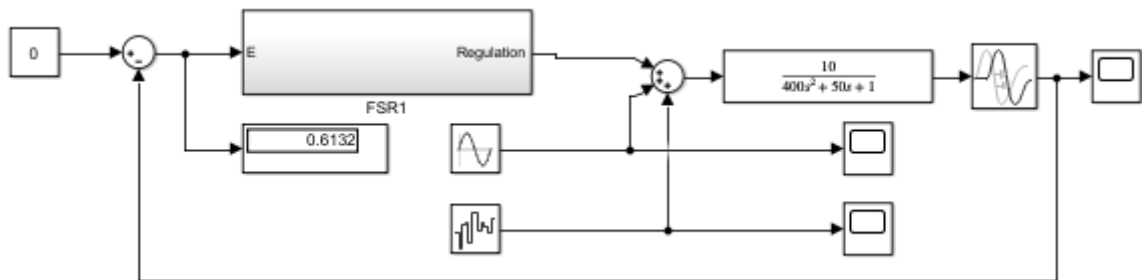


Рис.3.10. Модель САР із регулятором змінної структури (FSR)

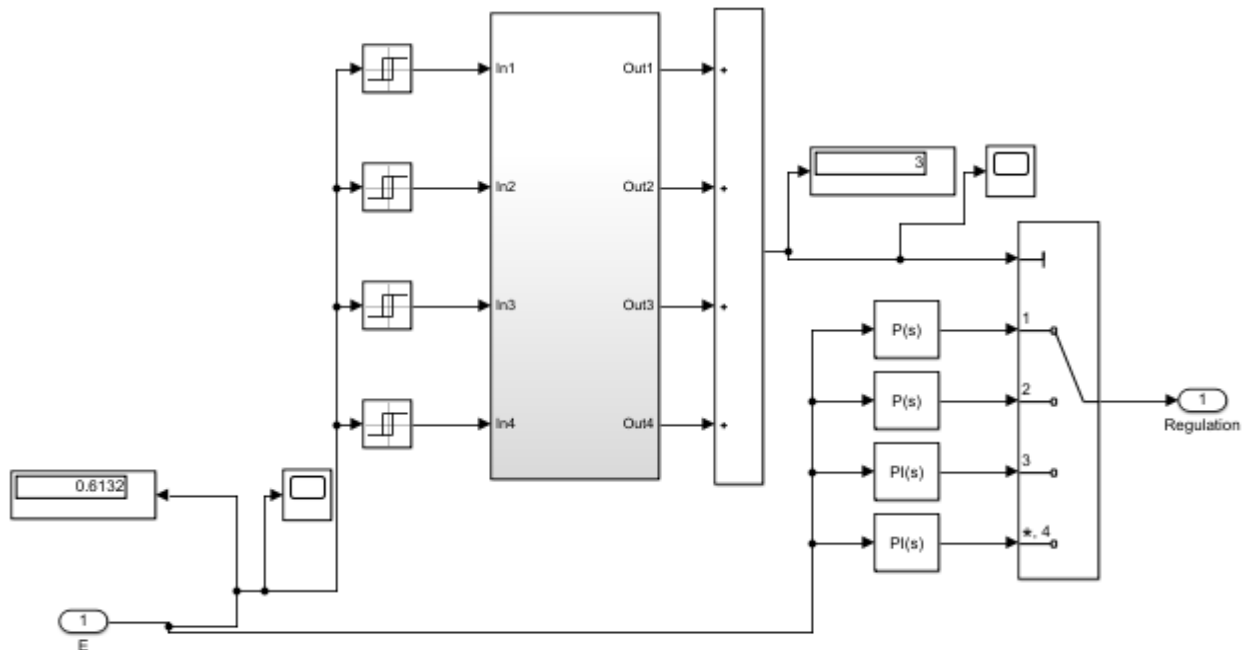


Рис.3.11. Регулятором змінної структури (FSR)

Таблиця 3.7. Налаштування регулятора зі змінною структурою

Регулятор режиму	Налаштування	
	Kp	Ti
1	0.25	-
2	0.3	-
3	0.015	0.04
4	0.008	0.04

В ході дослідження була отримана перехідна характеристика об'єкта із використанням РЗС, що представлена на рисунку 3.12. Також було проведено

дослідження поведінки САР при варіюванні параметрів об'єкту в межах  $\pm 20\%$ , що представлені на рисунку 3.13-3.15.

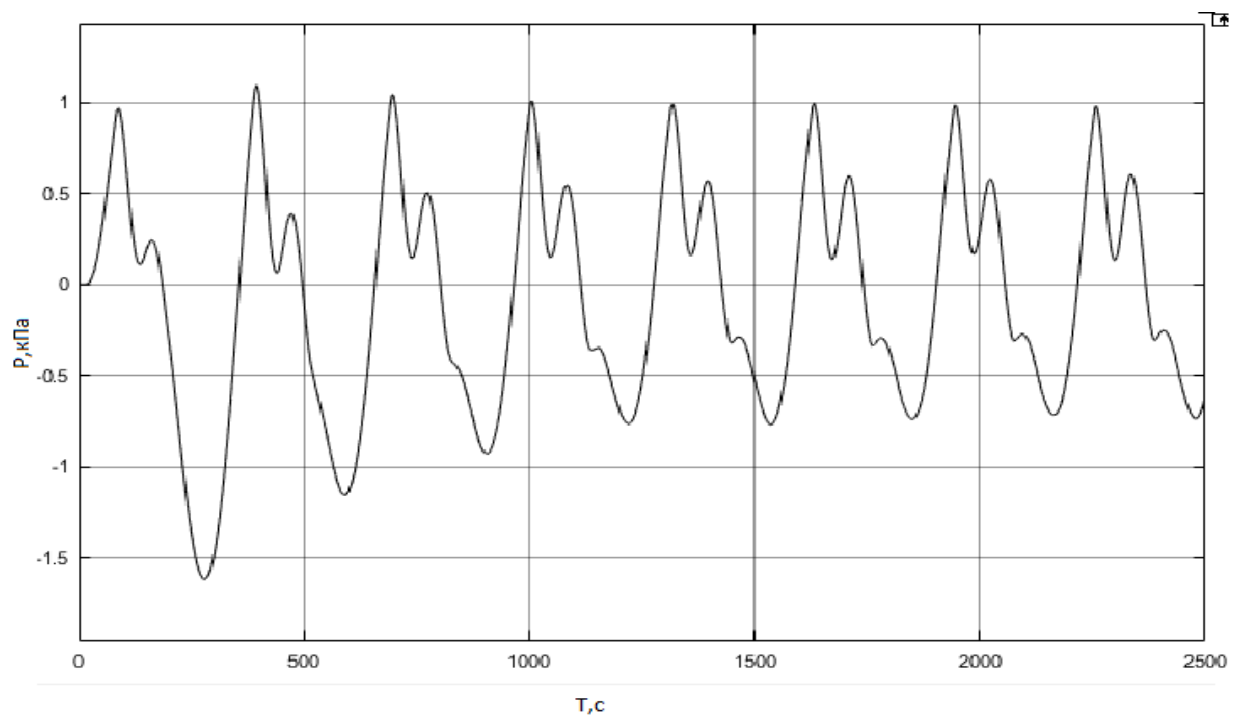


Рис.3.12. Перехідна характеристика САР тиску на вході системи з РЗС

На рисунку 3.12 видно, що амплітуда коливань тиску є задовільною при застосуванні РЗС, а отже представлене рішення є ефективнішим за аналогічну САР із ПІ - регулятором. Прямі показники якості представлені в таблиці 3.8.

Табл.3.8. Прямі показники якості

Показник	Значення
Статична похибка	-
Динамічна похибка	0,97
Час регулювання	-
Ступінь затухання	-
Перерегулювання	1,2%

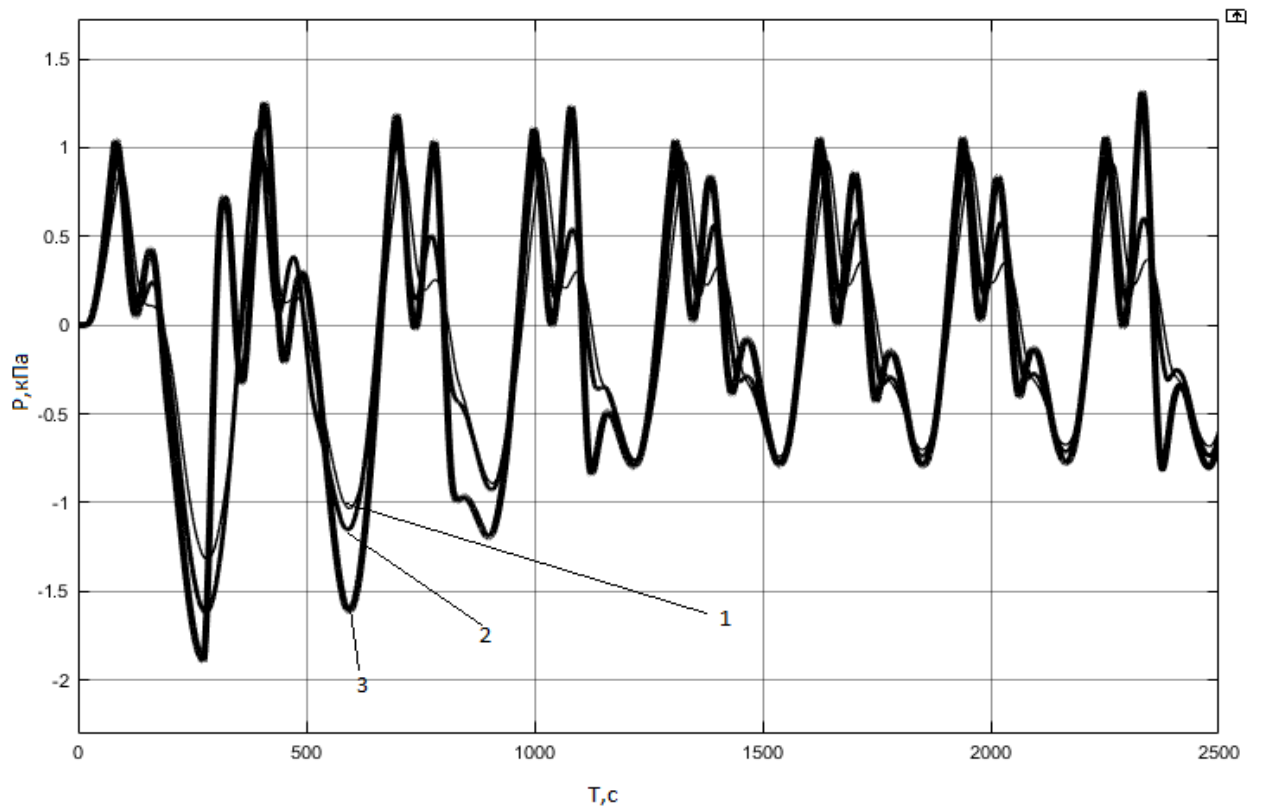


Рис. 3.13. Перехідні характеристики САР з РЗС при варіюванні  $K$  (1 -  $K = 8$ ; 2 -  $K = 10$ , 3 -  $K = 12$ )

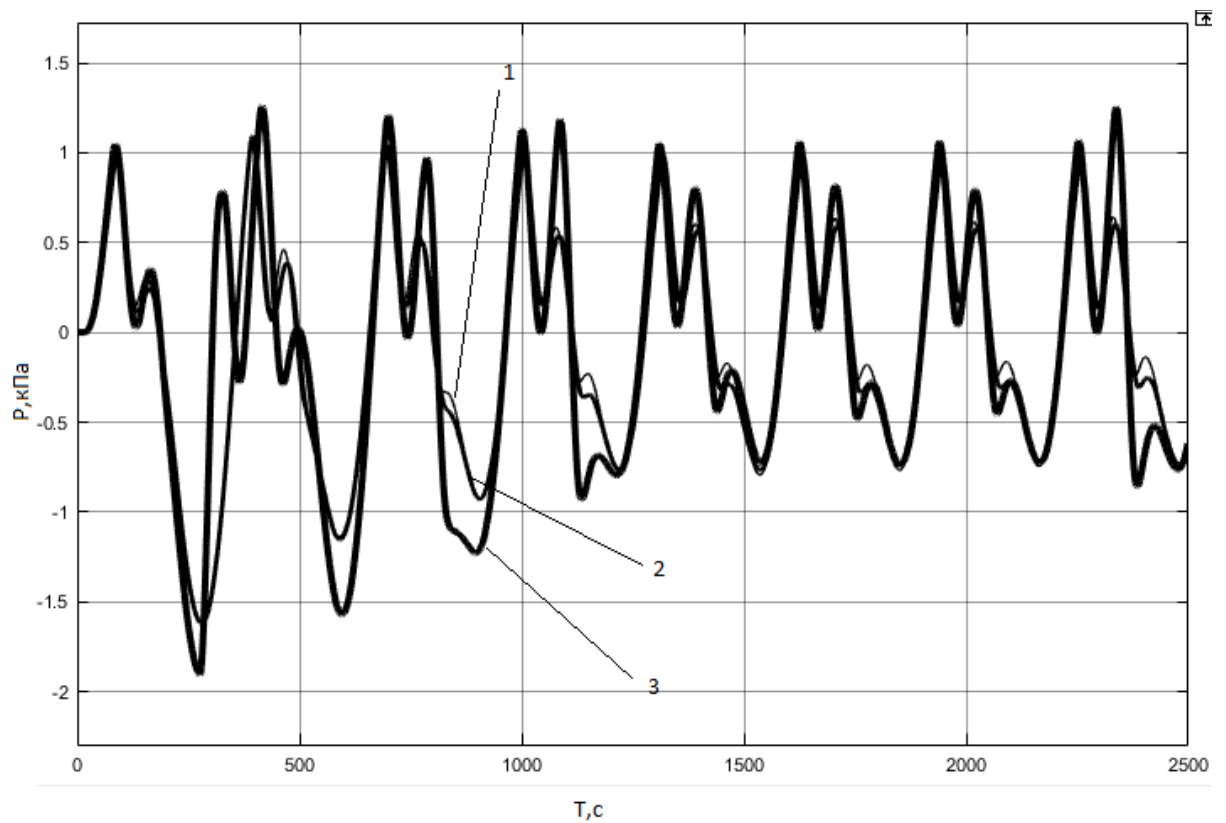


Рис. 3.14. Перехідні характеристики САР з РЗС при варіюванні  $T_1$  (1 -  $T_1 = 8$ ; 2 -  $T_1 = 10$ ; 3 -  $T_1 = 12$ )



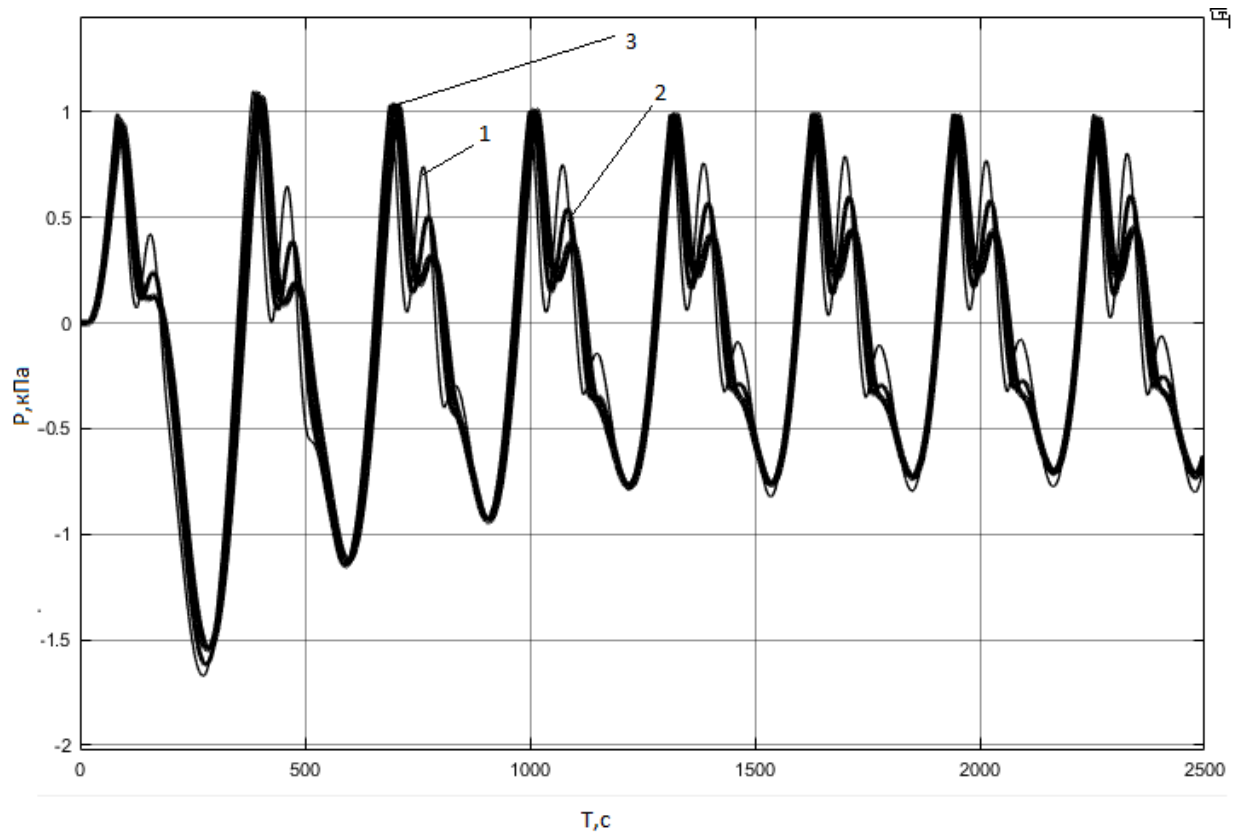


Рис. 3.15. Перехідні характеристики САР з РЗС при варіюванні  $T_2$  (1 –  $T_2 = 32$ ; 2 –  $T_2 = 40$ ; 3 –  $T_2 = 48$ )

Застосування САР з регулятором змінної структури дозволило якісно регулювати за умов збурень. Експериментальні дослідження показали ефективність застосування в умовах варіювання параметрів об'єкту регулювання. Амплітуда коливань при застосуванні РЗС була зменшена до допустимих меж. РЗС може бути реалізований фізично (при застосуванні декількох неперервних регуляторів з безударним перемиканням) або програмно на базі програмованих логічних контролерів.

## 4. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

### 4.1. Технічна реалізація системи управління

Задача регулювання основних параметрів системи є задачею локального управління. Тому систему управління цим процесом обираємо локальною на базі ПЛК (таблиця 4.1). Основним елементом такої системи є програмно-логічний контролер, функцією якого є виробка керуючої дії згідно заданого закону регулювання. На нього через модулі вводу заводяться сигнали від датчиків. Деякі з них використовуються при реалізації алгоритму управління, і усі вони передаються на рівень супервізорного управління.

Вплив на хід роботи об'єкту використовуються електричні виконавчі механізми з аналоговими та дискретними керуючими сигналами від аналогових виходів ПЛК.

Таблиця 4.1. Порівняння ПЛК

Модель	Siemens S7-1500 CPU CP1518- 4PN/DP	Schneider Electric CPU TM172PDG42R	ABB CPU PM783F
Максимальна к-ть модулів розширення	32	16	8
Максимальна к-ть аналогових входів (з модулем розширення)	64	64	32
Максимальна к-ть аналогових виходів (з модулем розширення)	32	16	32
Максимальна к-ть дискретних входів (з модулем розширення)	256	128	256
Максимальна к-ть дискретних виходів (з модулем розширення)	256	128	256

Продовження табл.4.1

Швидкість виконання логічної операції, мкс	0.08	0,25	0,16
Швидкість виконання операції із плаваючою точкою, мкс	2,3	4,81	3,6
Інтерфейс/протокол обміну	2xEthernet/ Modbus TCP/IP або Profinet I/O, можливе підключення комунікаційного модуля CM 1241	2xRS485/ Modbus RTU, 1xEthernet/ Modbus TCP/IP	1xEtherne t/Modbus TCP/IP, 1xCOM/P rofiBus Master
Програмне забезпечення	Simatic Step 7, WinCC v.15	EcoStruxure Machine Expert - HVAC	ABB Industrial IT Freelance v.14
Надійність (Тсер), год	74000	45000	70000
Ціна ПТКЗА(з урахуванням ПЗ), грн	185000 грн.	120000 грн.	145000 грн.

Таблиця 4.2. Обґрунтування вибору ПТКЗА

№ вимоги згідно пункту 4	Siemens SIMATIC S7-1500 CPU CP1518- 4PN/DP	Schneider Electric CPU TM172PDG42R	ABB CPU PM783F
1	+	+	+
2	+	+	+
3	+	+	+
4	+	+/-	+
5	+	+	+

Продовження табл.4.2

6	+	+	+
7	+	+/-	+/-
8	+	+	+
9	+	+	+
10	+	+	+
11	+	+	+
12	+	+	+
13	+	+	+
14	+	+	+
15	+	+	+
16	+	+/-	+/-
17	+	+	+
Всього	17	17	17

Згідно таблиці 4.2. всі контролери відповідають висунутим основним вимогам. Тому перевага надається контролеру від фірми Siemens, за рахунок наявності додаткових можливостей. Отже система автоматизації буде побудована на базі SIMATIC S7-1500 з модулями:

- 1 x CP1518-4 PN/DP – центральний процесор.
- 1 x PM 1507 – блок живлення, вхід ~115/230В, вихід =24В/2,5А;
- 1 x SM521 – модуль I/O, 16 дискретних входів;
- 2 x SM522 - модуль I/O, 32 дискретних виходів;
- 8 x SM531 - модуль I/O, 8 аналогових входів;
- 4 x SM532 - модуль I/O 8 аналогових виходів;

В таблиці 4.3 наведені повні технічні характеристики обраного CPU. В таблиці 4.4 наведені повні технічні характеристики обраних модулів I/O.

Таблиця 4.3. Технічні характеристики S7-1200

Центральний процесор	CPU CP1518-4 PN/DP
Час на обробку 1 операції процесором	0.08 мкс – логічна операція, 2,3 мкс – операція з плаваючою точкою
Максимальна к-ть модулів I/O	32
Вбудована пам'ять контролера	8 МБ
ПІД - регулювання	+
Вбудовані лічильники	6 x 100/30 кГц
Живлення	=24В
Інтерфейс	Польовий I/O: 1 для I/O Bus 2xEthernet/ Modbus TCP/IP або Profinet I/O, Модуль CM1241: RS485/422 PtP з'єднання або Modbus RTU, або ASCII, або USS
Габарити	130x100x75мм

Обмін інформацією між процесорною станцією і операторською станцією здійснюється за допомогою Ethernet. Взаємозв'язок між CPU та модулями I/O здійснюється за допомогою стандартної шини модулів I/O. При необхідності розширення системи передбачено ще декілька слотів для модулів I/O та підтримка протоколу Profinet I/O.

Середовище розробки LCADA та SCADA програм є інтегрованим програмним продуктом від фірми Siemens TIA Portal v.15, який являється досить простим і одночасно з цим має потужний інструментарій для розробки який повністю відповідає всім вимогам які описані в четвертому розділі. Приведений програмний продукт підтримує всі 5 мов стандарту IEC-61131.

Технічні характеристики модулів розширення та комунікаційного модуля представлені в таблицях 4.4 – 4.7

Таблиця 4.4. Технічні характеристики модуля аналогового вводу-виводу

Назва	SM 1534
Живлення	24В DC
Вхідні канали	4 x $\pm 10$ В; $\pm 5$ В; $\pm 2,5$ В або 0 - 20мА
Вихідні канали	2 x $\pm 10$ В або 0 - 20мА
Розрядність вхідна/вихідна	12 + знаковий біт/ 14 біт

Таблиця 4.5. Технічні характеристики модуля аналогового виводу

Назва	SM 1532
Живлення	24В DC
Вихідні канали	4 x $\pm 10$ В або 0 - 20мА
Розрядність вихідна	14 біт

Таблиця 4.6. Технічні характеристики модуля дискретного вводу-виводу

Назва	SM 1523
Живлення	24В DC
Вхідні канали	16 x 5 ... 250 В AC / 5 ... 30 В DC
Вихідні канали	16 x 5 ... 250 В AC / 5 ... 30 В DC / 2А
Тип виходів	Реле

Таблиця 4.7. Технічні характеристики модуля дискретного вводу

Назва	SM 1521
Живлення	24В DC
Вхідні канали	8 x 24 В DC

Монтаж контролеру та модулів I/O здійснюється на профільну DIN-рейку 35мм. Всі сигнали контролю від датчиків тиску, температури, витрати, рівня та концентрації які мають фізичний вихід 4–20 мА та зворотній зв'язок від виконавчих механізмів 0–10 В (докладніше в «Замовній специфікації»)

заводяться на модулі аналогового вводу – виводу SM531/SM532. Сигнали регулювання до виконавчих механізмів видаються через модулі аналогового виводу SM532 з сигналами 0–10 В. Сигнал дискретного вводу стану насосів та сигнал виводу на дозвіл включення насосів управляються за допомогою модулів дискретного вводу SM 521 та дискретного виводу SM 522. Зв'язок модулів I/O з головним CPU відбувається за допомогою шини для модулів I/O. Дані для верхнього рівня передаються через мережу Ethernet по протоколу S7. Структурна схема ПТКЗА зображена на рисунку 4.1.

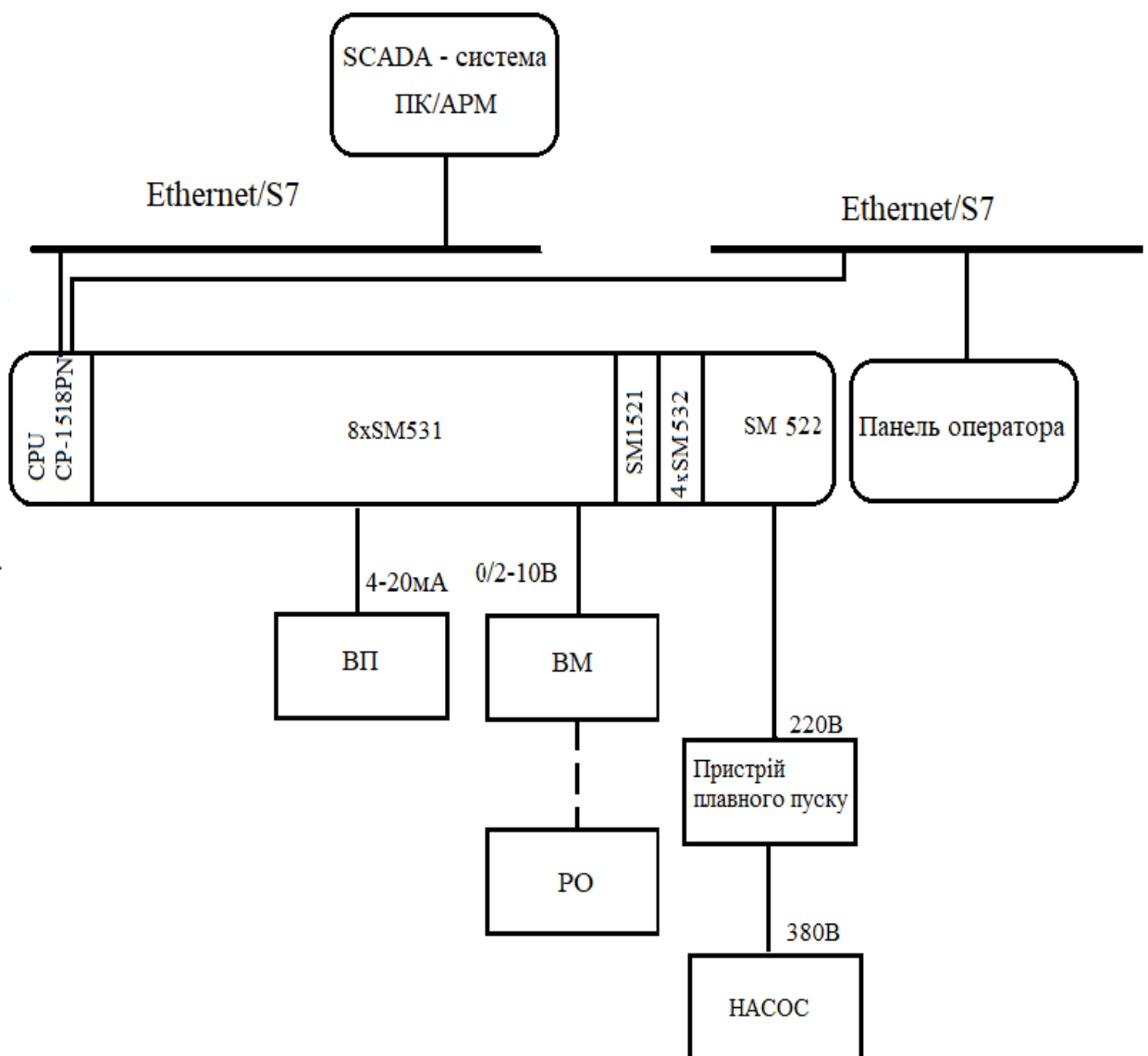


Рис.4.1. Структурна схема ПТКЗА

Розрахунок надійності функціонування системи полягає у визначенні надійності інформаційної, регулюючої, керуючої та захисної функції,

порівнянні його із заданим. У разі, коли значення розрахованого показника нижче за заданий, то використовується резервування найменш надійних ланок контуру регулювання. Показником надійності інформаційної функції є середнє напрацювання на відмову  $T_{сер}$ , або ймовірність безвідмовної роботи  $P_6$ . Вимоги для надійності є достатньо жорсткими, так як при відмові інформаційної функції інформація повністю втрачається.

Більш жорсткі вимоги висуваються до регулюючої функції, тому її надійність характеризується середнім напрацюванням на відмову  $T_{сер}$ , середнім часом відновлення  $T_в$  та ймовірністю безвідмовної роботи за час  $\tau$  з урахуванням відновлення функції  $P_c(\tau)$ .

Вимоги до захисної функції більш жорсткі ніж до інформаційної та регулюючої. При цьому працездатність захисної функції повинна бути забезпечена в момент аварії, а в проміжках між аваріями її відмови не впливають на працездатність системи в цілому. Захисна функція характеризується середнім напрацюванням на відмову  $T_{сер}$ , коефіцієнтом готовності  $K_{гот}$  або ймовірністю безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{оч}$ .

Виходячи із структурної схеми ПТКЗА (див рисунок 4.1), складемо структурну схему надійності. Кожен тип каналу розглядається як незалежний з послідовним типом з'єднання схеми надійності інформаційної (рисунок 4.2) та регулюючої/керуючої/захисної (рисунок 4.3) функцій.

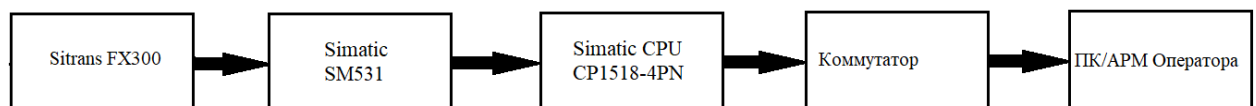


Рис. 4.2.А. Структурна схема надійності інформаційного функції системи з ПК



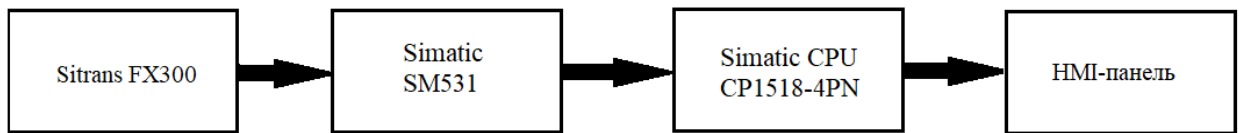


Рис. 4.2.Б. Структурна схема надійності інформаційної функції системи з HMI-панеллю

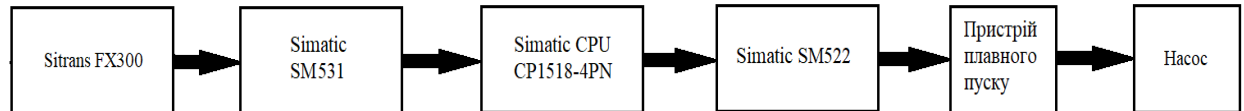


Рис. 4.3.А. Структурна схема надійності регулюючої/керуючої/захисної функції системи з модулем розширення та пристроєм плавного пуску

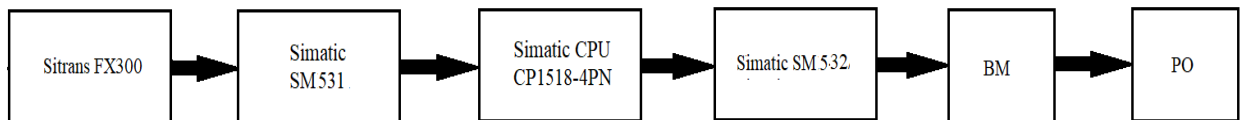


Рис. 4.3.Б. Структурна схема надійності регулюючої/керуючої/захисної функції системи з модулем розширення

Кожний елемент структурної схеми надійності характеризується інтенсивністю відмов  $\lambda, 1/\text{год}$  або середнім часом напрацювання на відмову  $T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}, \text{год}$ . Їх значення виберемо, виходячи із довідкових даних, і занесемо в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8. Значення інтенсивності відмов і середнього часу напрацювання на відмову на кожного елемента системи

Елемент	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	$T_{\text{сер}}, \text{год}$
Датчик температури SITRANS TW	4,6	219000
Датчик тиску SITRANS P(DSIII)	4,6	219000
Витратомір SITRANS FX300	4,6	219000
Датчик рівня SITRANS L-2.5	4,6	219000
Модулі аналогового вводу/виводу SM531, SM532	2,2	443875

Продовження табл.4.8

Модулі дискретного вводу/виводу SM521, SM522	0,9	1054704
Процесорний модуль ПЛК CPU CP1518	9,6	104136
Комутатор	2,3	438000
Пристрій плавного пуску	10	74000
Насос	11,4	87600
ВМ	11,4	87600
HMI – панель оператора SIMATIC TP1500	14,8	67452
ПК	14,8	67452
РО	57	17520

Найменш жорсткі вимоги висуваються до інформаційної функції. Тому надійність виконання цієї функції характеризуються середнім часом напрацювання на відмову  $T_{сер}$ , загальною інтенсивністю відмов та ймовірністю безвідмовної роботи за час  $\tau$  для кожної функції САР.

Середній час напрацювання на відмову  $T_{сер}$  розраховується за формулою:

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} \quad (4.1)$$

де  $\lambda$  – загальна інтенсивність відмов ССН інформаційної функції.

Загальна інтенсивність відмов ССН розраховується за формулою:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (4.2)$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов для  $i$ -го елементу ССН інформаційної функції;

$n$  – кількість елементів у ССН.

Ймовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$  розраховується за формулою:

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau} = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} \quad (4.3)$$

де  $P$  – ймовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$ ;

$\lambda$  – загальна інтенсивність відмов.

Більш жорстокі вимоги висуваються до регулюючої функції. Тому її надійність характеризується середнім часом напрацювання на відмову  $T_{сер}$ . Для керуючої функції розраховується ймовірність безвідмовної роботи за час  $\tau$   $P_c(\tau)$  з урахуванням відновлення  $P_B(\tau)$  за формулою (4.7).

$$P_c(\tau) = P(\tau) + [1 - P(\tau)] \cdot P_B(\tau) \quad (4.4)$$

Ймовірність відновлення працездатності:

$$P_B(\tau) = 1 - e^{-\frac{T_{доп}}{T_B}} \quad (4.5)$$

$T_{доп}$  – допустимий час функціонування об'єкта при невиконанні регулюючої функції АСК ТП.

Найбільш жорсткі вимоги висуваються до захисної функції. Надійність виконання захисної функції характеризується коефіцієнтом готовності  $K_{гот}$ , який розраховується за формулою (4.9) та ймовірності безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{оч}(\tau)$ , який розраховується за формулою (4.10).

$$K_{гот} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_B} \quad (4.6)$$

$$P_{оч}(\tau) = K_{гот} * P(\tau) \quad (4.7)$$

Розрахуємо параметри надійності для кожної функції САР.

### **Інформаційна функція:**

*Інформаційна функція системи з ПК*

Загальна інтенсивність відмов  $\lambda$ :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (4,6 + 2,2 + 9,6 + 2,3 + 14,8) * 10^{-6} = 33,5 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову  $T_{сер}$ :

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{33,5 * 10^{-6}} = 29850 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(\tau)$ :

Нехай час  $\tau = 42$  днів (6 тижнів) = 1008 год.

$$P(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} = e^{-1008/29850} = 0,967$$

*Інформаційна функція системи з НМІ-панеллю*

Загальна інтенсивність відмов  $\lambda$ :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (4,6 + 2,2 + 9,6 + 14,8) * 10^{-6} = 31,2 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову  $T_{сер}$ :

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{31,2 * 10^{-6}} = 32051 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(\tau)$ :

Нехай час  $\tau = 42$  днів (6 тижнів) = 1008 год.

$$P(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} = e^{-1008/32051} = 0,969$$

***Керуюча функція:***

*Керуюча функція системи з модулем дискретного виводу*

Загальна інтенсивність відмов  $\lambda$ :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (4,6 + 2,2 + 9,6 + 0,9 + 10 + 11,4) * 10^{-6} = 38,7 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову  $T_{сер}$ :

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{38,7 * 10^{-6}} = 25840 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(\tau)$ :

Нехай час  $\tau = 42$  днів (6 тижнів) = 1008 год.

$$P(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} = e^{-1008/25840} = 0,962$$

*Керуюча функція системи з модулем аналогового виводу*

Загальна інтенсивність відмов  $\lambda$ :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (4,6 + 2,2 + 9,6 + 10 + 11,4 + 57) * 10^{-6} = 94,8 * 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову  $T_{сер}$ :

$$T_{сер} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{94,8 * 10^{-6}} = 10548 \text{ год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи  $P(\tau)$ :

Нехай час  $\tau = 42$  днів (6 тижнів) = 1008 год.

$$P(\tau) = e^{-\frac{\tau}{T_{сер}}} = e^{-1008/10548} = 0,909$$

### **Регулююча функція:**

*Регулююча функція системи з модулем дискретного виводу*

Нехай середній час відновлення працездатності  $T_v = 2$  год, припустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої дії  $T_{прип} = 4$  год.

Ймовірність відновлення працездатності  $P_v$ :

$$P_v = 1 - e^{-\frac{T_{прип}}{T_v}} = 1 - e^{-\frac{4}{2}} = 0,8647$$

Ймовірність безвідмовної роботи за час  $\tau = 1008$  год з урахуванням відновлення регулюючої функції:  $P_c(\tau)$

$$P_c(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau)) \cdot P_v = 0,962 + (1 - 0,962) \cdot 0,8647 = 0,995$$

*Регулююча функція системи з модулем аналогового виводу*

Нехай середній час відновлення працездатності  $T_v = 2$  год, припустимий час функціонування об'єкту при невиконанні керуючої дії  $T_{прип} = 4$  год.

Ймовірність відновлення працездатності  $P_v$ :

$$P_v = 1 - e^{-\frac{T_{прип}}{T_v}} = 1 - e^{-\frac{4}{2}} = 0,8647$$

Ймовірність безвідмовної роботи за час  $\tau = 1008$  год з урахуванням відновлення регулюючої функції:  $P_c(\tau)$

$$P_c(\tau) = P(\tau) + (1 - P(\tau)) \cdot P_v = 0,909 + (1 - 0,909) \cdot 0,8647 = 0,988$$

### **Захисна функція:**

*Захисна функція системи з модулем дискретного виводу*

Коефіцієнт готовності  $K_{гот}$ :

$$K_{гот} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_v} = \frac{25840}{25840 + 4} = 0,9998$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{оч}(\tau)$ :

$$P_{оч}(\tau) = K_{гот} \cdot P(\tau) = 0,9998 \cdot 0,962 = 0,9618$$

*Захисна функція системи з модулем аналогового виводу*

Коефіцієнт готовності  $K_{гот}$ :

$$K_{гот} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{в}} = \frac{10548}{10548 + 4} = 0,9996$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваної задачі  $P_{оч}(\tau)$ :

$$P_{оч}(\tau) = K_{гот} \cdot P(\tau) = 0,9996 \cdot 0,909 = 0,9095$$

*За результатами розрахунку:*

- для інформаційної функції системи з ПК маємо  $T_{сер} = 29850$  год;  $P(\tau) = 0,967$ ;
- для інформаційної функції системи з НМІ-панеллю маємо  $T_{сер} = 32051$  год;  $P(\tau) = 0,969$ ;
- для керуючої функції з модулем дискретного виводу маємо  $T_{сер} = 25840$  год,  $P(\tau) = 0,962$ ;
- для керуючої функції з модулем аналогового виводу маємо  $T_{сер} = 10548$  год,  $P(\tau) = 0,909$ ;
- для регулюючої функції з модулем дискретного виводу маємо  $P_{в} = 0,8647$ ,  $P_{с}(\tau) = 0,995$
- для регулюючої функції з модулем аналогового виводу маємо  $P_{в} = 0,8647$ ,  $P_{с}(\tau) = 0,988$
- для захисної функції з модулем дискретного виводу маємо  $K_{гот} = 0,9998$ ,  $P_{оч}(\tau) = 0,9618$ .
- для захисної функції з модулем аналогового виводу маємо  $K_{гот} = 0,9996$ ,  $P_{оч}(\tau) = 0,9095$ .

Виходячи з результатів розрахунку, робимо висновок, що показники надійності задовольняють вимогам. Більш того, має місце запас надійності реалізації функцій. З розрахунків отримуємо нерівність  $P_{с}(\tau) > P(\tau)$ . Це вказує на те, що інформаційна функція є надійнішою ніж регулююча, що відповідає вимогам надійності.

## 4.2. Програмна реалізація системи управління

Програмний комплекс Siemens TIA Portal V15 включає в себе 2 основні програми:

- STEP 7 за допомогою якої здійснюється конфігурація, настройка, програмування та введення в експлуатацію;
- WinCC Professional V15 забезпечує супервізорний контроль;

Для створення SCADA - системи необхідно запустити TIA Portal V15. В головному вікні необхідно відкрити проект. Далі необхідно створити конфігурацію ПК оператора шляхом додавання пристроїв та перейти в режим Project View, де відображається дерево проекту. Далі необхідно налаштувати ПК та мережі обміну інформацією. Далі у дереві ПК станції необхідно створити візуалізацію SCADA – системи. Необхідно додати декілька дисплеїв: вікно з головною мнемосхемою об'єкту, вікна з контурами регулювання, вікна з налаштуваннями регуляторів відповідних контурів, вікна на яких буде відображено тренди всіх параметри які необхідно відслідковувати та архівувати, вікно з глобальними налаштуваннями, вікно для формування звітів та вікно аварій. Вікно створення SCADA програми, має вигляд малюнку, де всі графічні елементи можна створювати за допомогою панелі Toolbox, а також за допомогою команди Symbol Library можна імпортувати довільний файл з стандартними розширеннями. До кожного елементу можна додати анімації яка представлена в меню Animation.

Основні функції, які повинна виконувати SCADA програма:

1. обмін даними з контролером через мережу Ethernet;
2. при виході параметра з дозволених меж відбувається зміна кольору для звернення уваги оператора;
3. переключення та можливість керування процесом в ручному режимі;
4. у вікні зі SCADA програмою повинні відображатися Аварії.

В програмі перегляду SCADA програми виділено спеціальне місце для аварій або повідомлень системи з можливістю їх квітування.

Для реалізації програмного забезпечення локально рівня були використані ПІ-регулятори для контуру регулювання температури води на

виході з ПВТ (Рис.4.5), для контуру регулювання температури води на виході з ВВТ (Рис.4.6) та для контуру регулювання рівня конденсату в баках (Рис.4.7). Налаштування представлені у таблицях 4.9 – 4.11 відповідно.

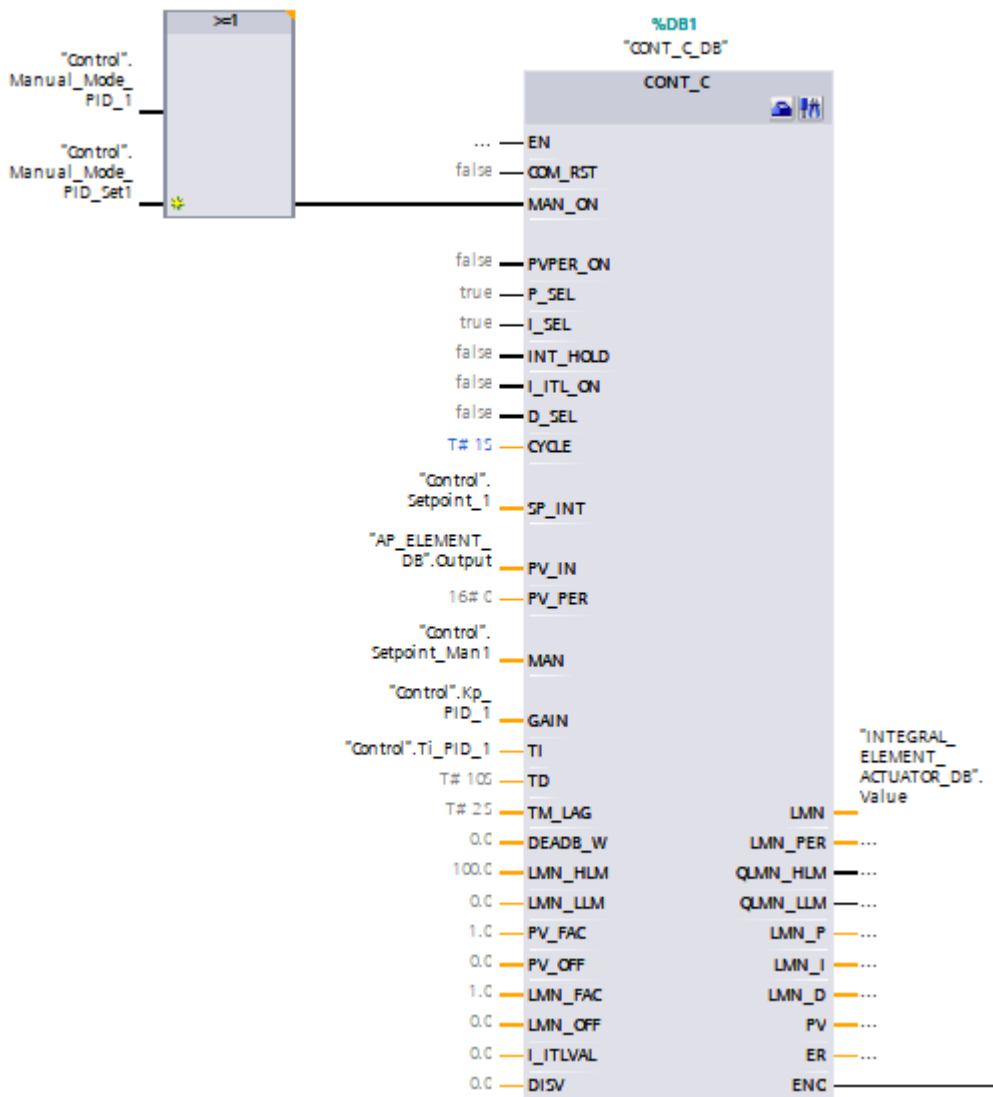


Рис.4.5.Регулятор контуру регулювання температури води на виході з ПВТ

Табл.4.9 Параметри регулятора 1

	Manual_Mode_PID_1	Bool	false						Вмикач ручного режиму регулятора 1 (аварійний)
	Manual_Mode_PID_Set1	Bool	false						Вмикач ручного режиму регулятора 1 (користувачський)
	Kp_PID_1	Real	0.8						Пропорційна частина регулятора 1
	Ti_PID_1	Time	T# 360S						Інтегральна частина регулятора 1
	Setpoint_1	Real	85.0						Уставка для автоматичного режиму регулювання 1
	Setpoint_Man1	Real	50.0						Уставка для ручного режиму регулювання 1

Вхід PV\_IN – вихід з об’єкта регулювання. Вихід LMN приєднаний до входу виконавчого механізму.



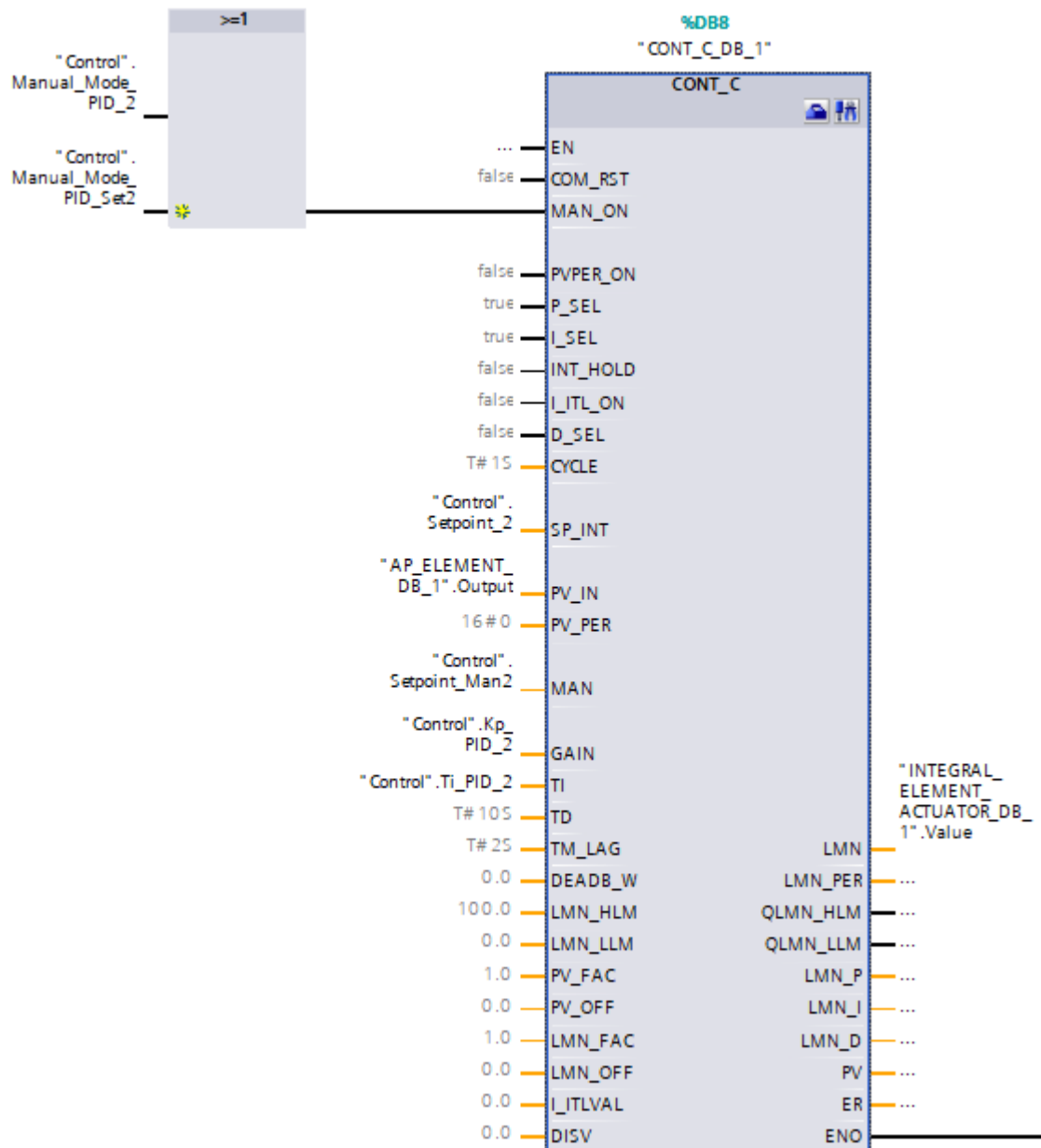


Рис.4.6.Регулятор контуру регулювання температури води на виході з ВВТ

Табл.4.10 Параметри регулятора 2

21	Manual_Mode_PID_2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вмикач ручного режиму регулятора 2 (аварійний)
22	Manual_Mode_PID_Set2	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вмикач ручного режиму регулятора 2 (користувачський)
23	Kp_PID_2	Real	0.82	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Пропорційна частина регулятора 2
24	Ti_PID_2	Time	T# 160S	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Інтегральна частина регулятора 2
25	Setpoint_2	Real	85.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Уставка для автоматичного режиму регулювання 2
26	Setpoint_Man2	Real	75.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Уставка для ручного режиму регулювання 2

Вхід PV\_IN – вихід з об'єкта регулювання. Вихід LMN приєднаний до входу виконавчого механізму.

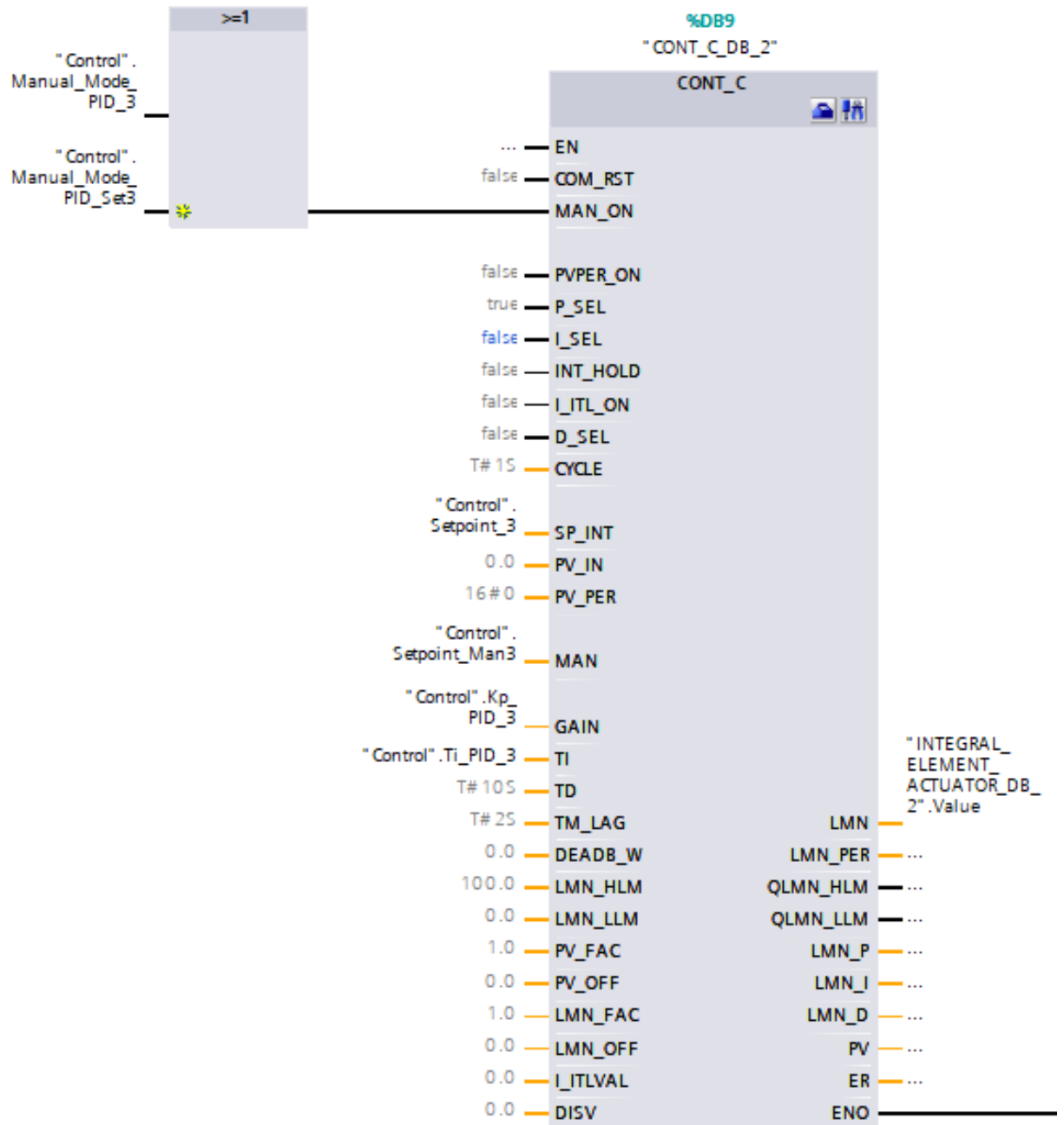


Рис.4.7.Регулятор контуру регулювання рівня конденсату в баках

Табл.4.11. Параметри регулятора 3

Manual_Mode_PID_3	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вмикач ручного режиму регулятора 3 (аварійний)
Manual_Mode_PID_Set3	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вмикач ручного режиму регулятора 3 (користувачський)
Kp_PID_3	Real	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Пропорційна частина регулятора 3
Ti_PID_3	Time	T#1200S	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Інтегральна частина регулятора 3
Setpoint_3	Real	10000.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Уставка для автоматичного режиму регулювання 3
Setpoint_Man3	Real	80.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Уставка для ручного режиму регулювання 3

Вхід PV\_IN – вихід з об'єкта регулювання. Вихід LMN приєднаний до входу виконавчого механізму.

Для впливу на об’єкт регулювання були створено функціональний блок, що описує виконавчі механізми (Рис. 4.8 – Рис.4.10). В таблиці 4.12 представленні параметри дозволу роботи виконавчого механізму.

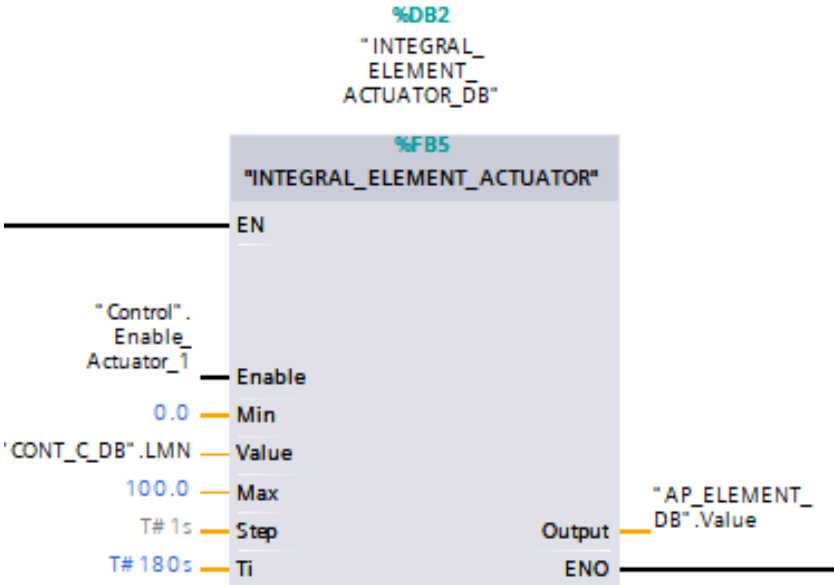


Рис.4.8. ВМ контуру регулювання температури води на виході з ПВТ

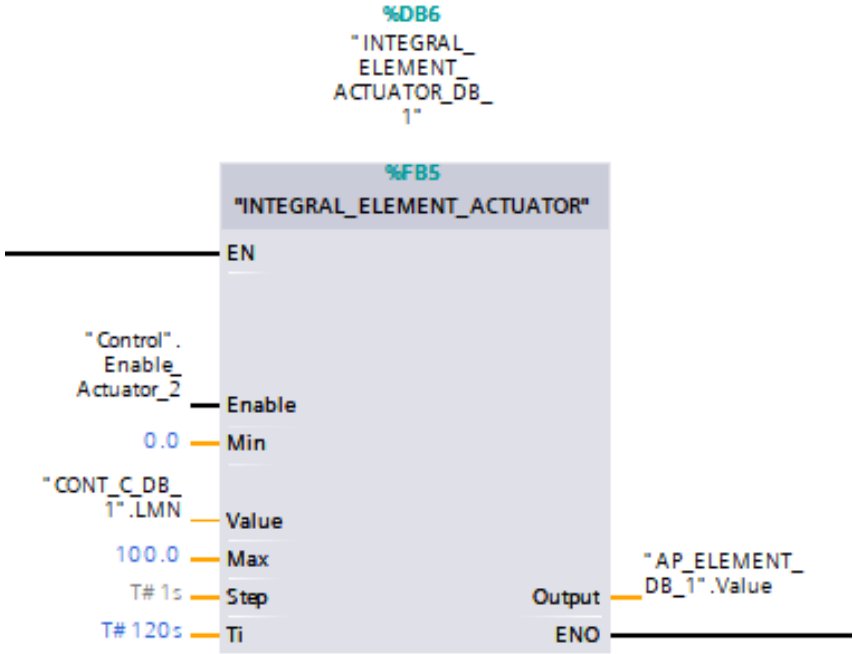


Рис.4.9. ВМ контуру регулювання температури води на виході з ВВТ

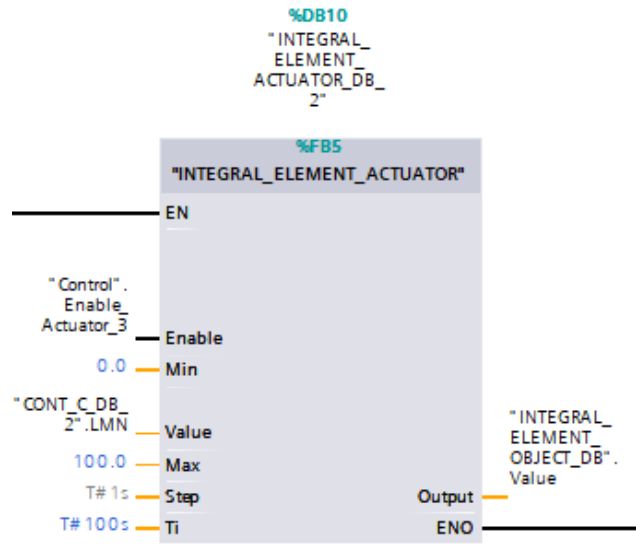


Рис.4.10. ВМ контуру регулювання рівня конденсату в баках

Табл.4.12. Параметри ВМ контурів №1-3

▼ Static									
Enable_Actuator_1	Bool	true	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Дозвіл на роботу ВМ 1
Enable_Actuator_2	Bool	true	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Дозвіл на роботу ВМ 2
Enable_Actuator_3	Bool	true	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Дозвіл на роботу ВМ 3

На вхід Value виконавчих механізмів приходять сигнал від відповідних регуляторів контурів, що наведені вище. Значення Min та Max жорстко задаються, а їх матеріальні значення визначаються реальними обмеженнями (кут повороту, крайні положення штоку, тощо). Код та змінні функціонального блоку представлені на рисунку 4.11 та рисунку 4.12.

```
1 IF #Enable = TRUE THEN
2
3     IF #Output < #Value THEN
4         #Output := #Value * DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step))/DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti)) + #Output;
5     IF #Output >= #Value THEN
6         #Output := #Value;
7     END_IF;
8 ELSE
9     IF #Output > #Value THEN
10        #Output := (#Value - 100) * DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step))/DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti)) + #Output;
11        IF #Output <= #Value THEN
12            #Output := #Value;
13        END_IF;
14    END_IF;
15 END_IF;
16 ELSE
17     #Output := 0;
18 END_IF;
```

Рис.4.11. Функціональний блок, що описує ВМ

▼ Input									
Enable	Bool	false	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Дозвіл на роботу
Min	Real	-32768.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Мінімальне значення
Value	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Вхідний параметр
Max	Real	32768.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Максимальне значення
Step	Time	T#1s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Крок
Ti	Time	T#0s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Стала часу
▼ Output									
Output	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Вихідна величина

Рис.4.12. Параметри функціонального блоку, що описує ВМ

Для реалізації сигналізації та блокування були створені алгоритми, які аналогічні для кожного контуру регулювання. Вони представлені на рисунку 4.13 та рисунку 4.14.

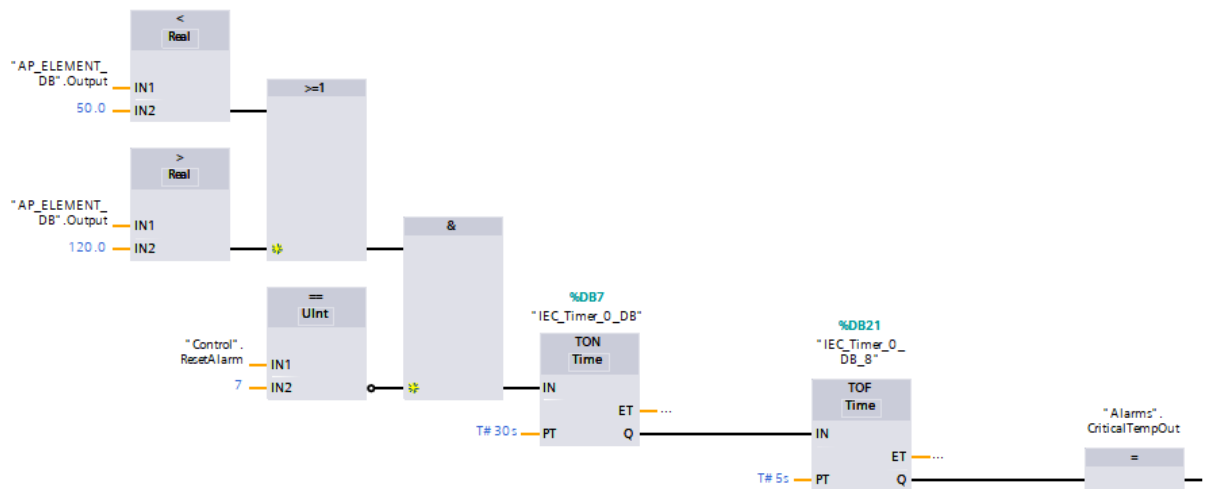


Рис.4.13. Алгоритм сигналізації виходу параметру за аварійні межі

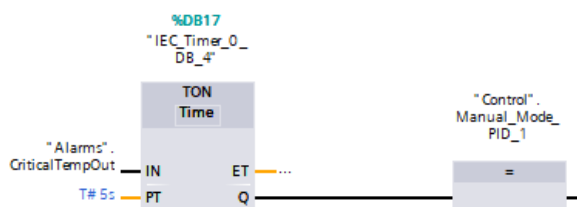


Рис.4.14. Алгоритм блокування

На вхід подається значення параметру, отриманого від об'єкту регулювання. Змінна ResetAlarm дозволяє оператору виконати квітування аварії.

Для реалізації програмного забезпечення супервізорного рівня був використаний Win CC Professional. Для робочої станції оператора була створена головна мнемосхема об'єкту автоматизації, що представлена на рисунку 4.15. Ідентична мнемосхема представлена на НМІ-панелі, що стоїть локально.

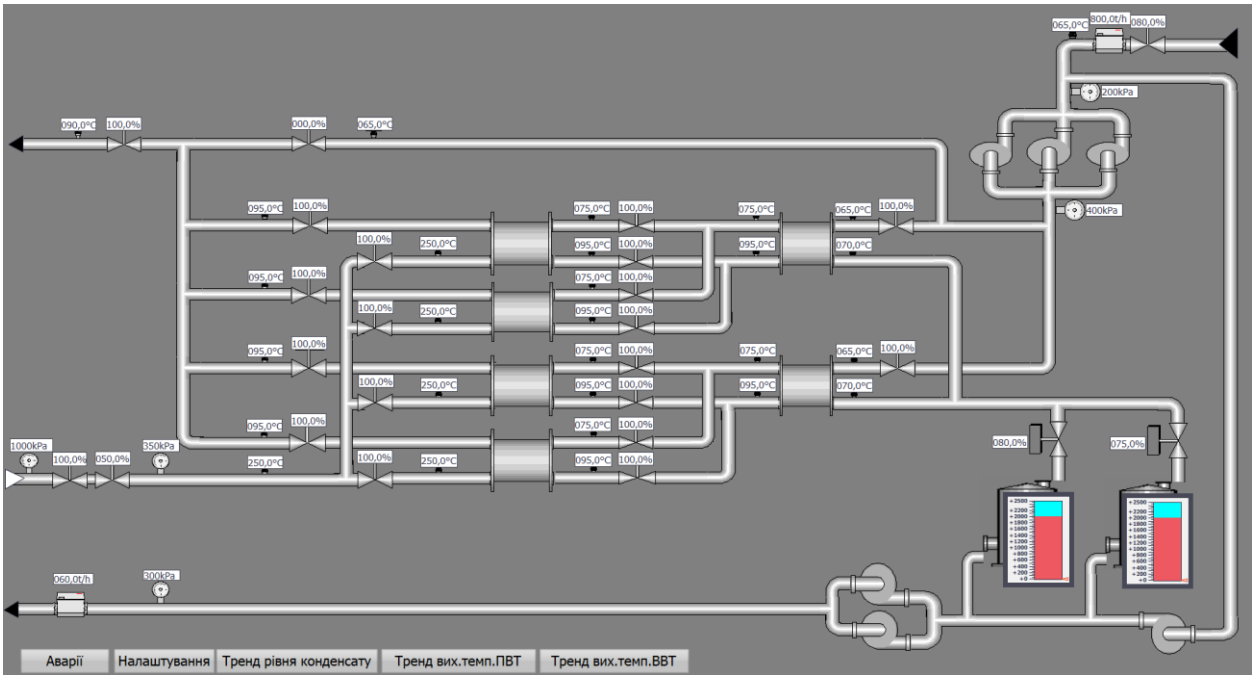


Рис. 4.15. Головна мнемосхема об'єкту автоматизації

Також було створено вікно Setting (Рис.4.16) для задання уставок в контурах регулювання, переводу системи в ручний/автоматичний режим та поля для задання налаштувань регулятора. Перехід на вікно відбувається за допомогою кнопки Settings.

Рис. 4.16. Вікно налаштувань (Settings) об'єкту автоматизації

Для основних регульованих параметрів були створенні вікна трендів, де відображається значення регульованого параметру контурів та положення відповідного ВМ. Відображення представленні на рисунку 4.17 – рисунку 4.19.

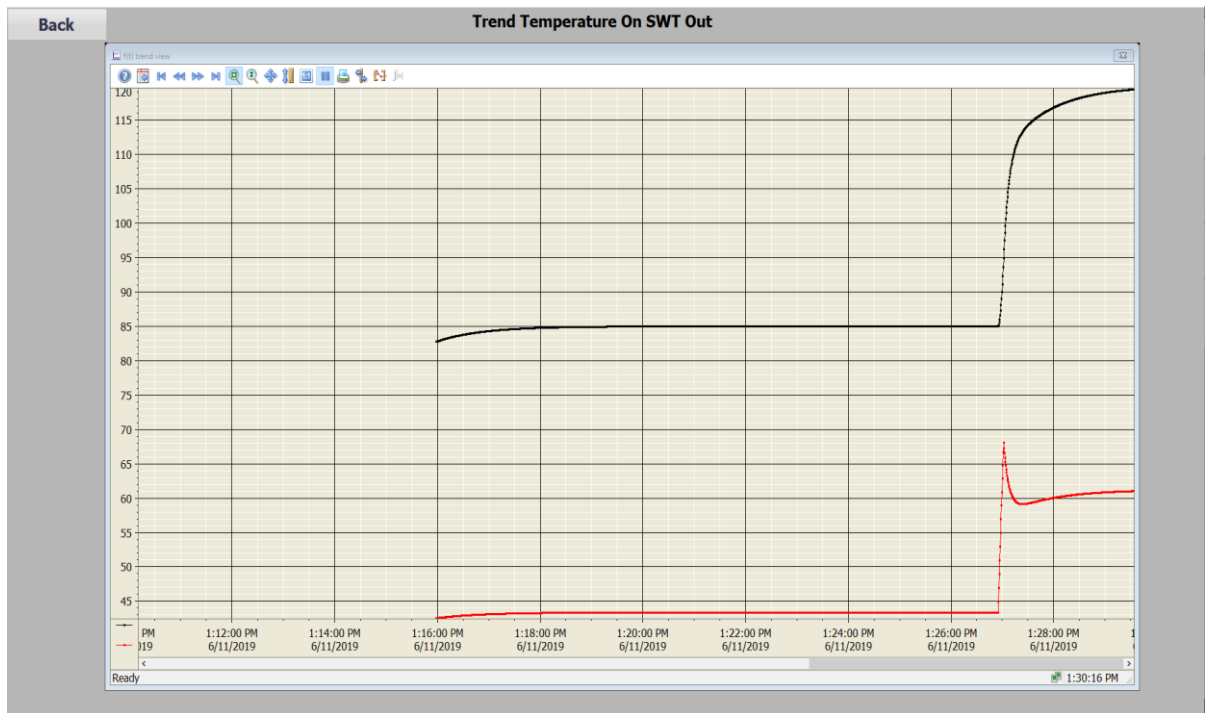


Рис. 4.17. Вікно трендів контуру регулювання температури води на виході з ПВТ

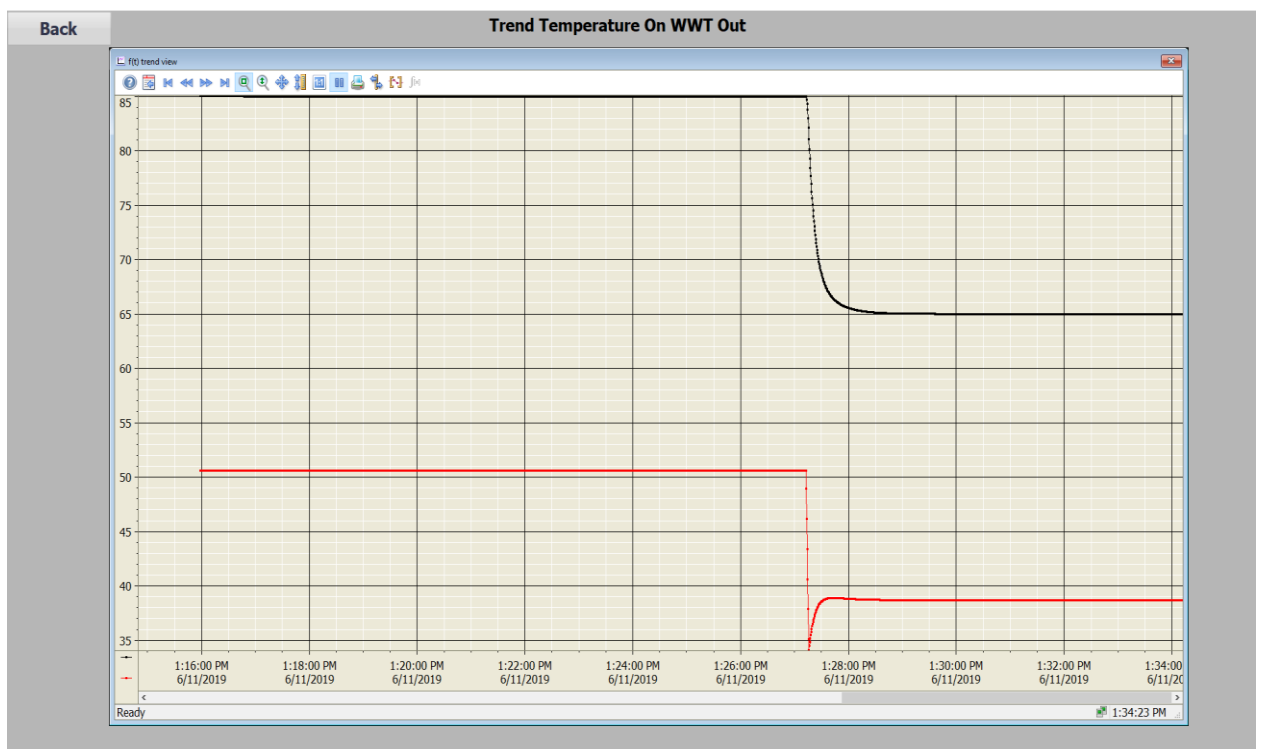


Рис. 4.18. Вікно трендів контуру регулювання температури води на виході з ВВТ

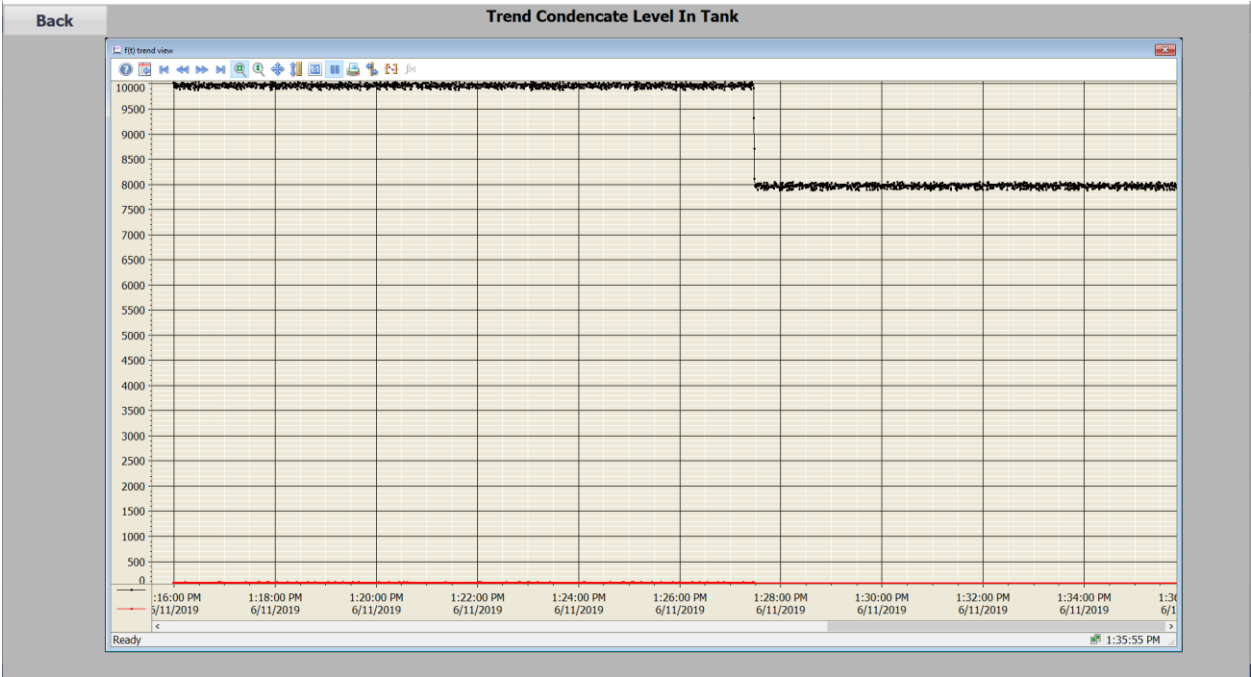


Рис. 4.19. Вікно трендів контуру регулювання рівня конденсату в баках

Перехід до вікон трендів за допомогою кнопок на головній мнемосхемі згідно контурам.

Для відображення аварій було створено вікно Alarms Log, що представлено на рисунку 4.20. Воно містить кнопку ResetAlarm, що скидає аварію. Якщо параметр прийшов до норми то колір тексту відрізняється від активно аварії. Перехід до вікна Alarms Log за допомогою кнопки на головній мнемосхемі.

Back		Alarms Log		
	Date	Time	Alarm text	
1	11/06/19	01:38:49 PM	Рівень конденсату в баку вийшов за межі	
2	11/06/19	01:38:47 PM	Температура підігрітої води на виході ВВТ вийшла за межі	
3	11/06/19	01:38:45 PM	Температура гарячої води вийшла за межі	
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				

ResetAlarm

Рис.4.20 Вікно аварій (Alarms Log)



### 4.3. Імітаційне моделювання АТП

Для перевірки працездатності системи для об'єкта автоматизації було створено функціональні блоки, що описують поведінку контурів регулювання температурою на виході з ПВТ, температуру на виході з ВВТ та рівнем конденсату у баку.

Моделі об'єктів представляють собою аперіодичні I порядку (температура) та інтегральні (рівень) об'єкти.

$$\text{Температура на виході з ПВТ: } W = \frac{0.01}{2400s^2 + 140s + 1}$$

$$\text{Температура на виході з ВВТ: } W = \frac{0.012}{2000s^2 + 120s + 1}$$

$$\text{Рівень конденсату в баку: } W = \frac{1}{300s}$$

Всі об'єкти реалізовані в окремих блоках, виходи яких під'єднані до відповідних регуляторів. На вхід об'єкта подається сигнал положення ВМ, на зміну якого, об'єкт реагує, змінюючи свій вихідний параметр, за яким працює весь контур регулювання.

Розглянемо основні контури регулювання.

#### 1) Контур регулювання температурою на виході ПВТ (Рис.4.22)

Вихід регулятора LMN під'єднаний до входу виконавчого механізму Value. Вихідний сигнал з ВМ (поточне положення) заходить на вхід аперіодичної ланки 1-го порядку, що є моделлю об'єкту регулювання. Код та вхідні і вихідні параметри представлені на рисунку 4.20 та рисунку 4.21 відповідно.

```

1 IF #Enable = TRUE THEN
2   #Output := DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti1 / 1000)) * DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti2 / 1000)) * #Output /
3   ((DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti2 / 1000))) *
4   (DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti1 / 1000)))) +
5   (DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti1 / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti2 / 1000))) * #Value * #Kp /
6   (DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti1 / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti2 / 1000)));
7 ELSE
8   #Output := #Value;
9 END_IF;

```

Рис.4.20. Функціональний блок АП ланки 2-го порядку

Input							
Step	Time	T#1s	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Value	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Kp	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ti1	Time	T#0s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ti2	Time	T#0s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Min	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Max	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Output	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис.4.21. Параметри блоку АП ланки 2-го порядку

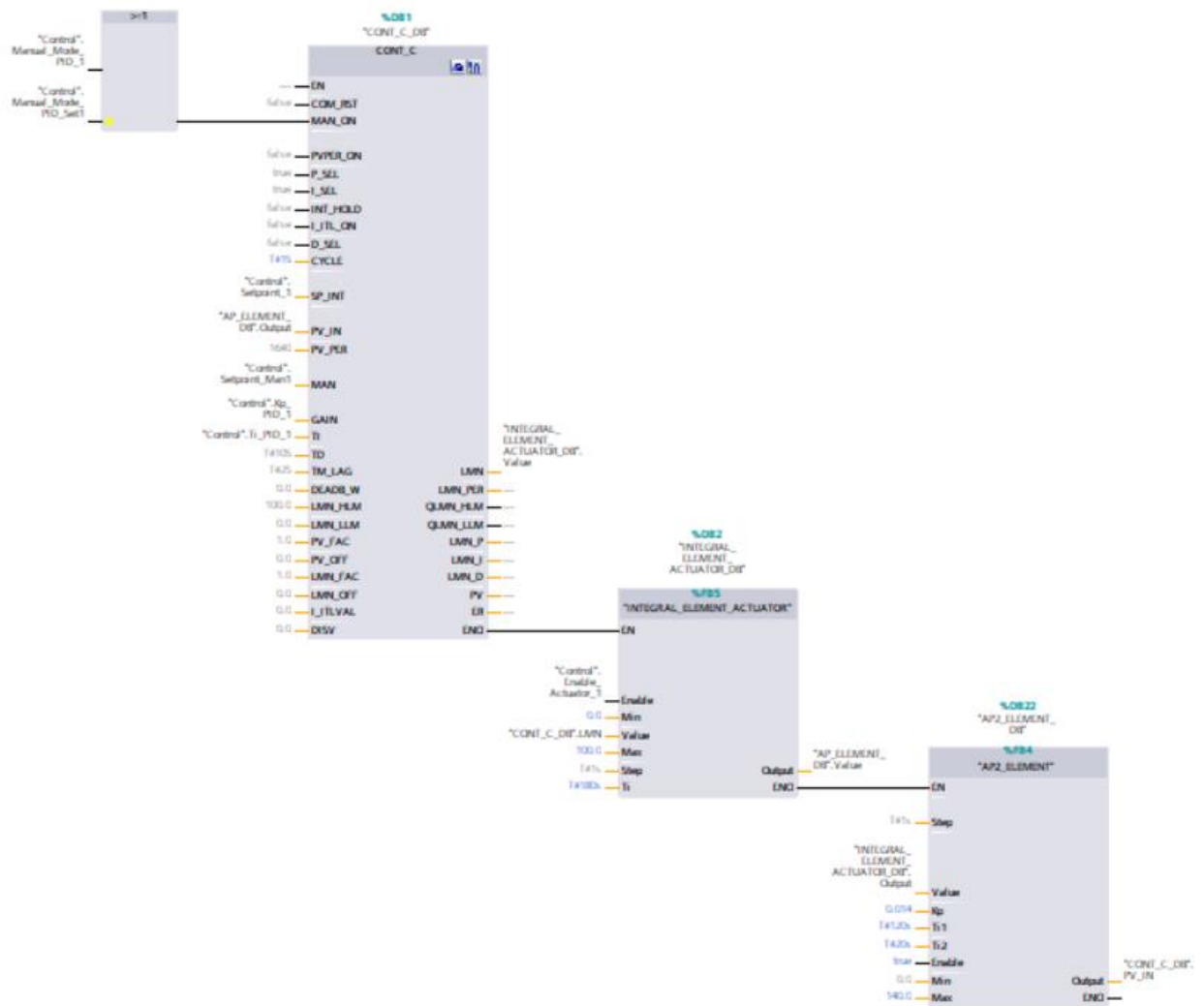


Рис.4.22. Контур регулювання температурою на виході ПВТ

## 2) Контур регулювання температурою на виході ВВТ (Рис.4.25)

Вихід регулятора LMN під'єднаний до входу виконавчого механізму Value. Вихідний сигнал з ВМ (поточне положення) заходить на вхід аперіодичної ланки 1-го порядку, що є моделлю об'єкту регулювання. Код та вхідні та вихідні параметри представленні на рисунку 4.23 та рисунку 4.24 відповідно.

```

1 IF #Enable = TRUE THEN
2   #Output := DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T11 / 1000)) * DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T12 / 1000)) * #Output /
3   ((DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T12 / 1000))) *
4   (DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T11 / 1000))) +
5   (DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T11 / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T12 / 1000))) * #Value * #Kp /
6   (DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T11 / 1000)) + DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#T12 / 1000)));
7 ELSE
8   #Output := #Value;
9 END_IF;

```

Рис.4.23. Функціональний блок АП ланки 2-го порядку

Input							
Step	Time	T#1s	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Value	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Kp	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ti1	Time	T#0s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ti2	Time	T#0s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Enable	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Min	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Max	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Output							
Output	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рис.4.24. Параметри блоку АП ланки 2-го порядку

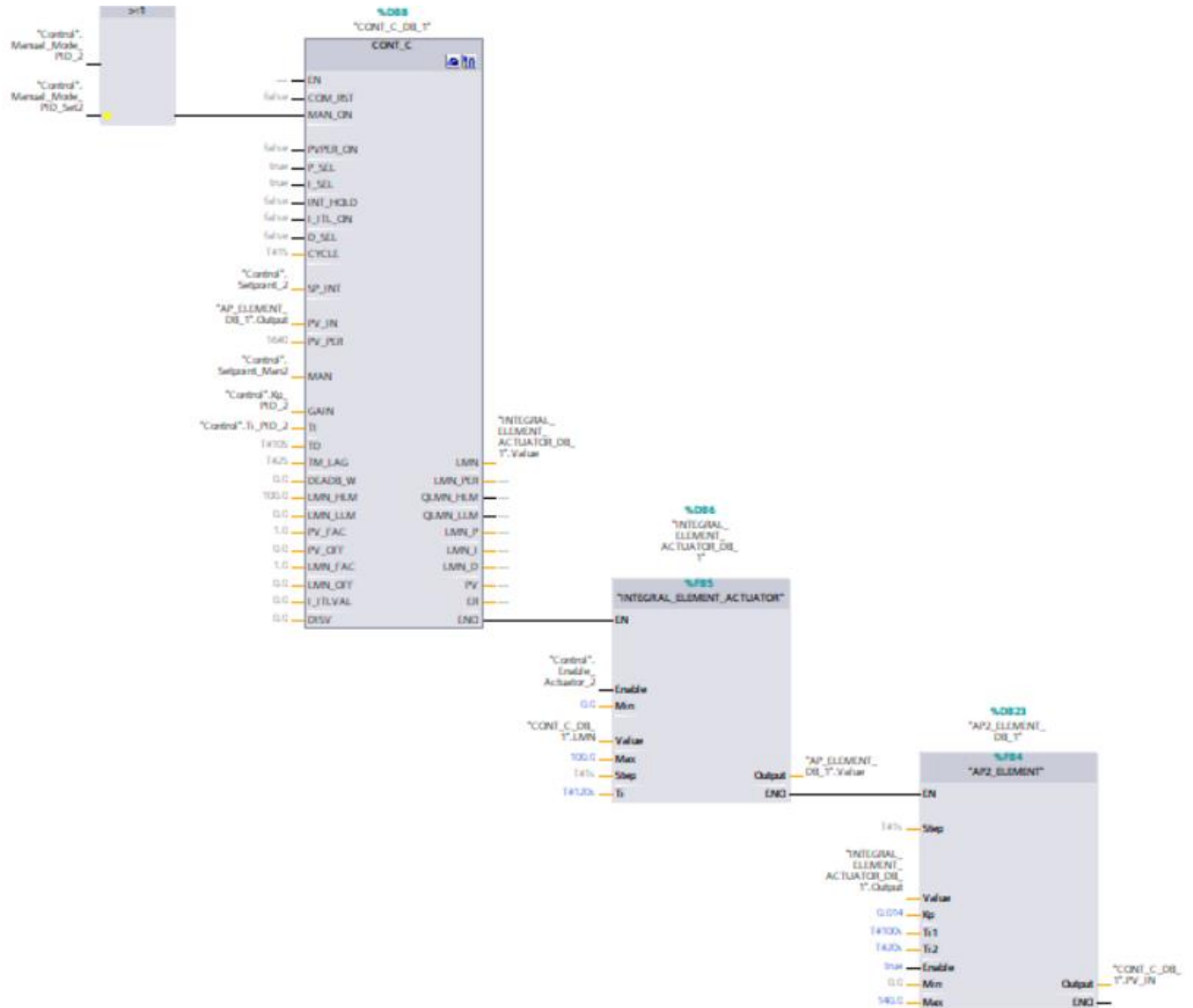


Рис.4.25. Контур регулювання температурою на виході ВВТ

### 3) Контур регулювання рівнем конденсату в баку (Рис.4.28)

Вихід регулятора LMN під'єднаний до входу виконавчого механізму Value. Код виконавчого механізму, як і попередньому контурі. Вихідний сигнал з ВМ (поточне положення) заходить на вхід інтегральної ланки, що є моделлю об'єкту регулювання. Вихід з об'єкту регулювання нормалізується (NORM\_X) і масштабується (SCALE\_X) відповідно до

діапазону. Код та вхідні та вихідні параметри представлені на рис.4.26 та рисунку 4.27 відповідно.

```

IF #Enable = TRUE THEN

  IF #Output < #Value THEN
    #Output := #Value * DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step))/DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti)) + #Output;
    IF #Output >= #Value THEN
      #Output := #Value;
    END_IF;
  ELSE
    IF #Output > #Value THEN
      #Output := #Output - #Value * DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Step))/DINT_TO_REAL(TIME_TO_DINT(#Ti));
      IF #Output >= #Value THEN
        #Output := #Value;
      END_IF;
    END_IF;
  END_IF;

ELSE
  #Output := 0;
END_IF;

```

Рис.4.26. Функціональний блок інтегральної ланки

Input									
Enable	Bool	false	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Дозвіл на роботу
Min	Real	-32768.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Мінімальне значення
Value	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вхідний параметр
Max	Real	32768.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Максимальне значення
Step	Time	T#1s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Крок
Ti	Time	T#0s	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Стала часу
Output									
Output	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Вихідна величина

Рис.4.27. Параметри блоку інтегральної ланки

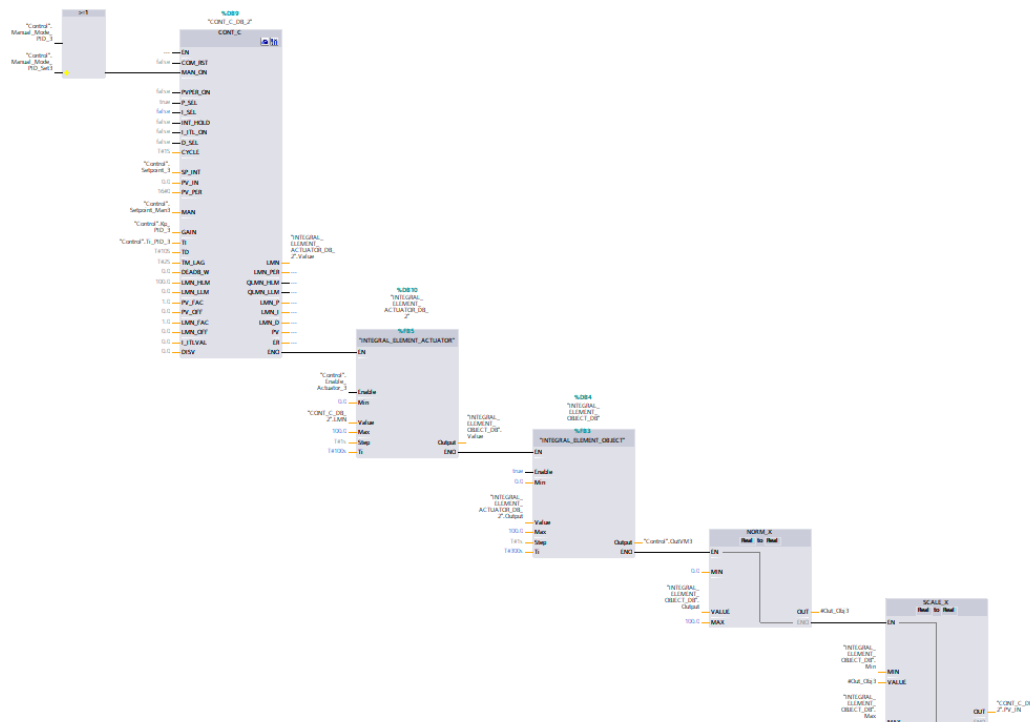


Рис.4.28. Контур регулювання рівнем конденсату в баку

Для перевірки функції автоматичного контролю необхідно запустити SCADA-програму на робочій станції оператора та відкрити головну мнемосхему. Усі цифрові показники повинні відображати числові значення параметрів системи, діапазон яких вказано у вікні налаштувань. Якщо значення не відображаються, то функція контролю працює не коректно. На рис. 4.15 всі параметри відображаються коректно, а отже функція контролю працює і відповідає вимогам.

Для перевірки функцій регулювання необхідно у симуляторі ПЛК встановити значення true в змінні дозволу роботи виконавчих механізмів. У вікні «Налаштування» встановлюємо значення завдань для регуляторів контурів регулювання. На головній мнемосхемі можна побачити зміну значень всіх контрольованих параметрів на цифрових показниках, перехідний процес – у вікні трендів, що представлено на рисунку 4.17, рисунку 4.18 та рисунку 4.19. За умови вставлення значення на вказане значення через певний проміжок часу робимо висновки, що функція регулювання контурами працює коректно.

Для перевірки переходу з автоматичного режиму в ручний необхідно перевести перемикач Mode у вікні Settings в положення Manual (Рис.4.29). При цьому регулятор плавно переведе виконавчий механізм в охоронне положення, що відповідає значенню уставки Setpoint Manual (Рис.4.30).

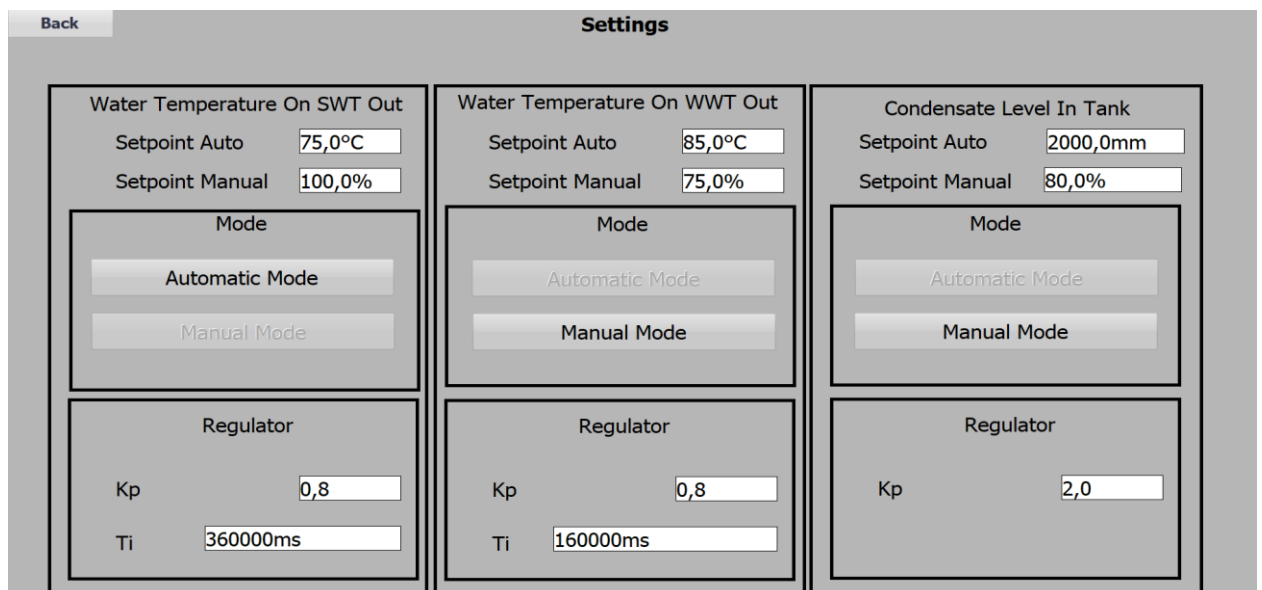


Рис.4.29. Вікно Settings і перемикач 1-го контуру в положенні Manual

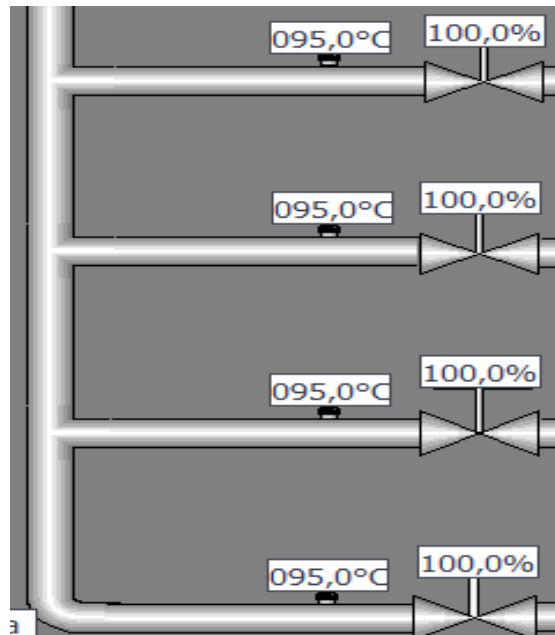


Рис.4.30. Частина головної мнемосхеми з клапанами у охоронному положенні

Виходячи з, представлених на рисунку 4.29 та рисунку 4.30, даних можна зробити висновок, що функція ручного управління працює коректно.

Для перевірки функцій сигналізації необхідно за допомогою ручного режиму керування вивести параметри регулювання за технологічні межі. У вікні Alarms Log (Рис.4.20) можна побачити активні та історичні аварії в системі, що інформує оператора про них. Виходячи з цього робимо висновок, що функція сигналізації виконана в повній мірі.

Для перевірки функцій блокування необхідно виконати алгоритм перевірки функції сигналізації. При виникненні аварії система почне відпрацьовувати алгоритми захисту переводячи систему в охоронний режим роботи та проінформує оператора. У разі виконання алгоритму система повернеться в нормальний технологічний стан, а аварії деактивуються.

## **5. СТАРТАП - ПРОЕКТ**

### **5.1. Резюме стартап – проекту**

**Тема:** Стартап проект розроблення програмного продукту.

**Ціль:** розроблення програмного продукту для оперативного розрахунку налаштувань систем автоматизованого керування різногалузовими технологічними об'єктами енергетичної сфери у онлайн або офлайн режимі.

**Проблематика, що вирішуються:**

- повільний розрахунок систем автоматизованого керування різногалузовими технологічними об'єктами енергетичної сфери їх контроль;
- створення універсального програмного продукту;
- негарантована стабільність реальних систем керування;

**Програмний продукт:**

Розроблення програмного продукту буде виконуватись в середовищі Microsoft Visual Studio 2017 з використання мови програмування C#. У програмі буде реалізовані алгоритми розрахунку налаштувань для аналогових, дискретних, адаптивних регуляторів, регуляторів зі змінною структурою, регуляторів з нечіткою логікою. Налаштування будуть використовувати, введені користувачем, математичні моделі об'єкта в офлайн режимі та алгоритм аналізу і створення моделі об'єкта на основі отриманих даних в онлайн режимі.

**Команда проекту:**

- керівник проекту;
- розробники програмного продукту;
- менеджер з продажів та просування продукту на ринку;
- бухгалтер;
- інженер – технолог;
- юрист.

**Витрати:**

1. Оренда приміщення.
2. Заробітні плати та відрахування.
3. Реклама діяльності компанії.
4. Просування продукту на ринку.
5. Оформлення юридичних та реєстраційних документів.
6. Комунальні послуги.
7. Організаційні витрати.

8. Адміністративні витрати.

9. Обладнання.

### **Рішення:**

- Дозволяє підвищити якість технологічної продукції на 5-15%.
- Зменшення витрат на виготовлення однієї одиниці продукції до 10%.
- Зменшення часу технологічного процесу на 10-25% за рахунок оптимізації процесу.
- Зменшення втрат при аварійних ситуаціях на 50-60% за рахунок онлайн моніторингу.

### **Інвестиції:**

Для реалізації стартап-проекту необхідна сума у розмірі 1,5 млн.грн.

## **5.2. Організаційний план**

Табл.5.1. Організаційний план

№	Назва заходу	Термін
1	Пошук учасників для команди проекту	1 – 2 тижні
2	Розподілення повноважень між учасниками проекту	2 – 3 дні
3	Зустріч з інвесторами	2 – 3 дні
4	Оформлення юридичних документів щодо створення компанії та подальшої її функціонування (у тому числі, оренди приміщення, договірні відносини с постачальником обладнання)	1 тиждень. Протягом реалізації усього проекту
5	Закупівля та встановлення обладнання	2 - 3 дні
6	Розробка прототипу. Тестування якості прототипу	6 тижнів
7	Зустріч з інвесторами	2 – 3 дні
8	Внесення виправлень. Створення готового програмного продукту	6-12 тижнів
9	Зустріч з інвесторами	2 – 3 дні
10	Реклама. Зустріч із споживачами. Участь у виставках та тендерах	8 тижнів
11	Виконання перших заказів. Повернення капіталу інвесторам	4 – 6 місяців
12	Зустріч з інвесторами	2 – 3 дні
13	Вихід з продукцією на ринок Києва та Київської області	2 місяці
14	Вихід на український ринок	3 місяця
15	Вихід на ринок Європи	1 рік

Максимальний загальний термін реалізації стартап-проекту складає 2 роки.



Табл.5.2. Кадрові рішення

Посада	К-ть осіб	Обов'язки
Керівник проекту	1	Організація діяльності команди, контроль виконання командою організаційного плану, визначення стратегічного курсу компанії, зустрічі з інвесторами, несення відповідальності за діяльність компанії.
Розробник програмного продукту	2	Розробка та удосконалення програмного продукту. Сервісне обслуговування споживачів.
Менеджер з продажів та просування продукту на ринку	1	Пошук потенціальних споживачів, продаж програмного продукту, дослідження ринків продажу, рекламування продукту.
Бухгалтер	1	Оформлення бухгалтерських та фінансових документів, несення відповідальності за розподіл фінансових ресурсів компанії (у тому ж числі сплата податків і відрахувань).
Інженер технолог –	2	Дослідження технологічного процесу на об'єкті споживача, написання технічного завдання для конфігурування програмного продукту, несення відповідальності за пуско-налаштувальні роботи.
Юрист	1	Оформлення договорів між компанією та споживачем/інвестором/постачальником/іншим, оформлення всіх юридичних документів, несення відповідальності за юридичну документацію компанії.

### 5.3. Маркетинговий план

#### 5.3.1. Маркетингова концепція товару

Для початку сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач з порівнянням аналогів конкурентів (див табл. 5.3).

Табл. 5.3 Маркетингова концепція товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Проблема неоднозначності налаштувань об'єктів при проектуванні та пусконаладці	Автоматичний обрахунок налаштувань регулятора по даним введеними користувачем, або на основі отриманих даних безпосередньо від об'єкту в онлайн режимі.	Створення бібліотеки стандартних об'єктів керування для різних галузей, що зменшить час налагодження такої системи.
2	Потреба використання подібних програм користувачам і без технічної освіти у галузі автоматизації	Програмний продукт пропонує простий та зрозумілий інтерфейс (спрямований на персонал з освітою не пов'язаною з автоматизацією) з поясненнями кожного параметру та прикладами протікання процесу при його зміні.	Для існуючих програмних продуктів на ринку необхідно мати розуміння безлічі параметрів налаштування регуляторів, та розуміти як поведе себе об'єкт при неправильному налаштуванні.
3	Потреба використання програми на будь-якому пристрої, що має браузер (потреба кросплатформеності)	Використання програми на будь-якому пристрої, що має браузер за рахунок веб-інтерфейсу (комп'ютер, ноутбук, планшет, телефон).	Конкуренти на ринку наразі пропонують тільки Desktop-ні програми (програми які можна використовувати тільки після встановлення на комп'ютер), при чому такі програми займають багато пам'яті та вимагають високі технічні характеристики.

### 5.3.2. Маркетингова модель товару

Далі наведена розроблена трирівнева маркетингова модель товару з ідеєю продукту, його складовими та особливостями процесу надання (Табл.5.4).

Табл. 5.4 Маркетингова модель товару

Рівні товару	Сутність та складові	
I. Товар за задумом	Клієнт насправді купує ліцензію на використання програми. Придбавши ліцензію, покупець отримує повний доступ до всіх можливостей програмного продукту для оперативного розрахунку налаштувань систем автоматизованого керування різногалузевими технологічними об'єктами енергетичної сфери у онлайн або оффлайн режимі, а також підписується на оновлення програмного продукту у період дії ліцензії.	
II. Товар у реальному виконанні	Програмний продукт у веб-версії та Desktop-версії	
	Якість:	Планується створити якісну програму, що витіснить конкурентів через простоту використання та кроссплатформеність продукту.
	Дизайн:	За задумом планується реалізувати обидві версії програми з однаковим дизайном (можливі незначні відмінності) максимально зрозумілим для користувача з іконками та засобами, що моментально передають сенс дії.
	Назва марки:	Smart Structure
	Упаковка:	Ключ ліцензії буде поставлятися електронною поштою, яку користувач буде вказувати при оплаті товару.
III. Товар із підкріпленням	До продажу користувачу надається можливість тимчасового користування (15 днів) для одного девайсу з можливістю використання більшої частини функцій та рекламним вікном.	
	Після продажу користувач отримує повний доступ до програмного продукту (на термін дії ліцензії) без обмежень функцій користувача та без рекламного вікна. Також клієнт автоматично підписується на оновлення програмного продукту, якщо користується Desktop-версією продукту.	
Товар буде програмно захищено від копіювання та злому.		

### 5.3.3. Визначення цінових меж

Далі визначенні цінові межі (див. Табл 5.5), якими будемо керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, але остаточне ви-значення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту.

Табл. 5.5 Межі встановлення ціни

Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
Найнижча ціна на ринку на товар – аналог 1350 грн/рік (665 грн/півроку) за ліцензію	Компанії з рівнем доходів не менше 10 000 грн/міс	300...500 грн/півроку

### 5.3.4. Системи збуту

Система збуту є визначальним фактором об'єму продажу продукту. Цільовими клієнтами є підприємства, що займаються виготовленням, встановленням або обслуговуванням обладнання технологічних об'єктів енергетичної сфери. Формування системи збуту представлена в табл. 5.6.

Табл. 5.6 Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Цільові клієнти на яких ми робимо акцент – підприємства що не користуються подібними програмами налаштувань	Пояснити клієнтам, що наш програмний їм необхідний, відправити ключ продукту.	Передбачено нульовий рівень або канал прямого маркетингу (без посередників). Товар буде продаватись безпосередньо споживачам.	За оптимальну систему збуту прийнято власну систему збуту за допомогою реклами та дзвінків потенційним клієнтам.

### 5.3.5. Концепція маркетингових комунікацій

Табл. 5.7 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються клієнти	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Цільові клієнти на яких ми робимо акцент – підприємства що не користуються подібними програмами налаштувань.	В якості каналів комунікацій обрано мережу інтернет, а саме розумну рекламу пошукових сервісів Google а також автоматичну розсилку e-mail листів з інформацією про товар фірмам, що входять до нашої цільової аудиторії, інтеграції реклами у YouTube у відео, клієнтами.	Донести клієнтам, що наш програмний продукт полегшить та пришвидшить їх роботу. При чому зможе налаштувати обладнання на номінальний режим роботи, чим зведе до мінімуму поломки.	Привернути увагу до реклами, зображенням-ілюстрацією використати слова, що привертають увагу: 'безкоштовно', 'новинка' і так далі. Зняти яскравий сучасний проморолик з залученням сторонньої рекламної компанії (для YouTube користувачів).

### 5.4. Фінансовий план

Ми провели розрахунки по видаткам та доходам нашого підприємства за перше півріччя роботи компанії (орієнтовна дата відкриття– травень 2021 р.). В таблиці 5.8 представлені витрати на оплату праці, а в таблиці 5.9 загальні витрати на вироблення кінцевого продукту та першої партії ліцензій.

Табл.5.8. Бюджет прямий витрат на виробництво продукції

Показник	Вид товарної продукції	
	Програмний продукт	Ліцензії
1) План виробництва продукції, шт.	1	10000
2) Норма витрат праці на шт., люд/год	480	0,25
3) Всього витрат праці, год	960	2500
4) Оплата праці, грн/год	250	150
5) Всього витрат на оплату, грн	240000	375000
6) Загальні витрати на оплату праці, грн	615000	

Таблиця 5.9. Бюджет собівартості виготовленої продукції

Показник	Вид товарної продукції	
	Програмний продукт	Ліцензії
1) План виробництва продукції, шт.	1	10000
2) Витрати на матеріали, грн	200000	0
3) Витрати на оплату праці, грн	240000	375000
4) Загально виробниці витрати, грн	100000	500000
5) Всього витрат на виробництво, грн	540000	875000
6) Виробнича собівартість, грн/шт.	540000	87,5

Виходячи з отриманих даних, представлених у таблицях 5.8 та 5.9 стартовий капітал для виготовлення 1 партії продукції 1415000 грн. В таблиці 3 та таблиці 4 представлені прогнозовані результати реалізації продукції у 1ше півріччя.

Таблиця 5.10. Бюджет собівартості реалізованої продукції

Показник	Вид товарної продукції	
	Програмний продукт	Ліцензії
1) Собівартість виробництва, грн	540000	875000
2) К-ть неріалізованої продукції,шт		
2.1) Початок періоду	0	250
2.2) Кінець періоду	0	100
2) Залишки товарної прдукції, грн		
3.1) Початок періоду	0	21875
3.2) Кінець періоду	0	8750
4) Собівартість реалізованої продукції, грн	540000	866250

Таблиця 5.11. Бюджет собівартості реалізованої продукції

Показник	Вид товарної продукції		Разом
	Програмний продукт	Ліцензії	
1)Обсяг продажу (планова виручка), грн	0	3465000	3465000
2) Собівартість реалізованої продукції, грн	540000	866250	1406250
3) Валовий прибуток (збиток), грн	-540000	2598750	2058750
4) Адміністративні витрати, грн	50000	0	50000
5) Витрати на збут, грн	0	30000	30000
6) Фінансовий результат до опадткування	-590000	2568750	1978750
7) Податок на прибуток (18%), грн	0	462375	462375
8) Чистий прибуток (збиток), грн	-590000	2106375	1516375

При реалізації стартап – проекту збитковість програмного продукту становить 590000 грн, але реалізація ліцензій компенсує збитковість програмного прибутку та має чистий прибуток у розмірі 1516375 грн за перше півріччя. Такі показники будуть зберігатися протягом всього періоду реалізації стартап – проекту (2 роки). Після повної реалізації, плановий річний чистий прибуток становитиме 2106375 грн/рік. Всі витрати для реалізації стартапу будуть перекрито через 8 місяців.

Для початку функціонування компанії потрібно 1415000 грн. Фінансування стартап - проекту включає джерела інвестиційних ресурсів, які поділяються на 2 основні групи:

1. Банківський кредит (який становить основну частину стартового капіталу) – 1000000 грн. під 20% річних.
2. Власні кошти – 500000 грн. Ці кошти потрібні для запуску проекту і початку його роботи, а саме на забезпечення матеріально-технічної бази. Можливо джерела фінансування будуть змінені за умови виграшу гранту або тендеру.

### **5.5. Юридичний план**

Компанія буде одноосібним володінням - організаційно – правова форма підприємства, за якої людина одноосібно володіє й управляє ним, бере на себе весь ризик збитків або отримує весь прибуток.

Буде обрано саме таку форму володіння, бо вона має наступні переваги:

1. Безпосереднє керування власником(свобода та оперативність).
2. Невеликі первинні капіталовкладення.
3. Власник буде отримувати весь прибуток.
4. Власник зможе закрити підприємство, коли це буде необхідно.

Недоліки одноосібного володіння:

1. Труднощі з залученням великих капіталів
2. Через невисокий рівень платоспроможності, банки неохоче дають кредити таким підприємствам.

3. Повна відповідальність за борги.
4. Відсутність спеціалізованого менеджменту.
5. Невизначеність термінів функціонування.

Правовий статус – приватне підприємство. Приватне підприємство - це організаційно - правова форма підприємства, заснованого на власності фізичної особи.

Згідно із законодавством України, власник є водночас і підприємцем. Тобто, власність та управління майном не розмежовується.

Одна із переваг приватного підприємництва – засновник має право визначити розмір статутного капіталу на свій розсуд. Статутний капітал може становити будь-яку суму, проте дана сума має бути зазначена в статутних документах. Зазвичай підтвердження формування статутного капіталу приватного підприємства при державній реєстрації не вимагається, проте не зайвим буде мати відповідні документи. Це може бути довідка з банку чи акт приймання-передачі майна. Однією з найбільш оптимальних при виборі системи оподаткування приватного підприємства є спрощена система оподаткування (єдиний податок).

## **5.6. Оцінка та аналіз ризиків**

Підприємницька діяльність не буває без ризику. Це пов'язано з тим, що ціль її здійснення –отримання максимального прибутку, а найбільший прибуток, як правило, приносять ринкові операції з підвищеним ризиком. Основним завданням цього розділу є виявлення можливих ризиків з якими можливо зіткнутись під час реалізації проекту. Оцінка ризиків представлена в таблиці 5.12



Таблиця 5.12. Оцінка ризиків

№	Прості ризики	Експерти			Середня оцінка	Вага кожного ризику	Інтегральний показник ваги
		1	2	3			
1	Ризик відмови (зриву) від співробітництва	2	4	3	3	0,015	0,045
2	Валютний ризик (зміна валютного курсу призведе до зміни розмірів інвестицій)	5	6	4	5	0,2	1
3	Непередбачені витрати	2	2	3	2,3	0,01	0,023
4	Нові бар'єри входження в дану галузь	4	2	4	3,3	0,024	0,08
5	Кредитний ризик	6	3	2	3,6	0,025	0,0917
7	Інфляційний ризик	5	3	4	4	0,05	0,2
8	Ризик зниження запланованого рівня чистого прибутку	2	1	3	2	0,005	0,01
9	Поява альтернативного продукту (конкурента)	6	7	5	6	0,4	2,4
10	Зниження цін конкурентами	3	1	2	2	0,005	0,01
11	Збільшення виробництва у конкурентів	5	5	5	4,6	0,2	0,93
12	Ріст податків	5	3	4	4	0,05	0,2
13	Неплатоспроможність споживача	1	0	1	0,6	0,001	0,00067
14	Недостатність оборотних коштів	2	3	4	3	0,015	0,045

За експертною оцінкою видно, що найбільшим ризиком є поява альтернативного продукту від конкурентів, оскільки, наразі, від стрімкого розвитку веб-технологій компаніям з програмним продуктом для ПК створюють конкуренцію компанії, що розробляють такий самий продукт у веб-додатку.

Також серйозним ризиком експерти вважають зміну валютного курсу та інфляцію через нестабільну ситуацію у світі. Зміна валютного курсу призведе в свою чергу до збільшення цін на оренду офісу та непередбачених витрат на підтримку нормального рівня заробітної плати для співробітників. По тій самій причині великий ризик зростання податків.

## **5.7. Висновок**

Згідно розрахунків термін реалізації проекту згідно організаційного плану становить 2 роки. Також можна прогнозувати, що представлений стартап проект буде мати високу рентабельність та конкурентоспроможність. Вивчивши ринок та провівши маркетингове дослідження ми зробили висновок, що існує велика кількість конкуруючих невеликих компаній, що займаються виготовленням, встановленням або обслуговуванням обладнання технологічних об'єктів енергетичної сфери, які є нашими цільовими клієнтами та потребують нашого товару для поліпшення послуг які вони надають своїм клієнтам. За фінансовим планом ми плануємо вийти в чистий прибуток вже в перше півріччя реалізації проекту. Юридично буде оформлена компанія одноосібною формою власності, а за правовим статусом - приватним підприємством. До ризиків слід віднести появу альтернативного продукту від конкурентів, зміну валютного курсу, інфляцію та зростання податків.

## ВИСНОВКИ

В представленій магістерській роботі була розроблена та реалізована система автоматизації бойлерної станції сміттєспалювального заводу. Було досліджено основні контури регулювання, у тому числі контур регулювання тиску на вході до бойлерної станції дослідження якого проводилися вперше. На основі отриманих даних була отримана математична модель та був синтезований регулятор змінної структури. Застосування запропонованої САР з регулятором змінної структури дозволило якісно регулювати за умов збурень, що є наближеними до синусоїди. Експериментальні дослідження показали ефективність застосування в умовах варіювання параметрів об'єкту регулювання. Амплітуда коливань при застосуванні РЗС була зменшена до допустимих меж, а отже поставлена задача була виконана. РЗС може бути реалізований як фізично (при застосуванні декількох неперервних регуляторів з безударним перемиканням) або програмно на базі програмно – логічних контролерів. Була створена система автоматизації, що включає технічне та програмне забезпечення Також був розроблений план стартап – проекту, що описує його поетапну реалізацію.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Шпарук Б.О., Поліщук І.А. Адаптивне управління інерційними квазістаціонарними об'єктами//«Молодий вчений» - Квітень, 2017 - № 4 (44) –С. 577 -582.
2. Хобін В.А., Парамонов О.І. Регулятор змінної структури для побутових ефективних робастних автоматичних систем // В кн.: Наук. пр. / Одес. держ. акад. харч. техн. – Одеса, 1997. – Вип. 17. – С. 241 – 248.
3. Дудник С.О., Поліщук І.А. Застосування регулятора змінної структури з гармонічними збуреннями входних параметрів//«Молодий вчений» - Листопад, 2019 - № 11 (75).
4. Методичні вказівки з оформлення курсових и дипломних проектів для студентів всіх спеціальностей теплоенергетичного факультету. – К.: НТУУ «КПІ»– 1992.
5. «Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування систем управління» для студентів спеціальності «Автоматизація технологічних процесів та виробництв» // Укладач: Баган Т.Г– К.: НТУУ "КПІ".– 2011.– 45 с.
6. Каталог продукції компанії Siemens - <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Products/1000000>
7. Керівництво з програмування у TIA Portal. Спільнота розробників ПЗ для систем автоматизації - <https://www.siemens-pro.ru/soft/tia-portal.html>
8. Дудник С.О., Поліщук І.А. Проблематика систем управління бойлерною станцією сміттєспалювального заводу // XVII міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», 2019.
9. Дудник С.О., Поліщук І.А. Системи автоматичного захисту та блокування бойлерної станції сміттєспалювального заводу // XVII міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», 2019.

10. Сейл Прайс Компані. Архів оригіналу за 2018-02-08. [Електронний ресурс] Проекти зі сміттєпереробки в Україні - <http://www.saleprice.com.ua/>.
11. Основные принципы работы мусороперерабатывающего завода» [Електронний ресурс] - [http://elport.ru/articles/osnovnyie\\_printsipyi\\_raboty\\_musoropererabatyivayuschego\\_zavoda](http://elport.ru/articles/osnovnyie_printsipyi_raboty_musoropererabatyivayuschego_zavoda).
12. Стаття «Автоматическая защита» [Електронний ресурс] [https://studref.com/362919/tehnika/b432\\_avtomaticheskaya\\_zaschita](https://studref.com/362919/tehnika/b432_avtomaticheskaya_zaschita)
13. Автоматизация котельной [Електронний ресурс] [http://www.wonderware.com.ua/pdf/WW\\_story\\_SiberianBrewing\\_ru\\_1210.pdf](http://www.wonderware.com.ua/pdf/WW_story_SiberianBrewing_ru_1210.pdf).
14. «Автоматическое регулирование, защита, блокировка, сигнализация» [Електронний ресурс] - Энциклопедия по машиностроению XXL <https://mash-xxl.info/info/681829>.